

Porovnanie vybraných softvérových nástrojov pri návrhu fotovoltaických systémov

Damián Dalibor Kusovský, doc. Mgr. Miroslava Farkas Smitková, PhD

Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, FEI STU v Bratislave

xkusovsky@stuba.sk

Abstrakt – Príspevok porovnáva vybrané softvérové nástroje, PVGIS, PVsyst a Polysun SPT, pri návrhu a zhodnotení potenciálu výroby elektrickej energie zvoleného fotovoltaického systému pre konkrétny rodinný dom. Porovnanie je realizované pri nastavených rovnakých vstupných parametroch a podmienkach, pričom sa hodnotí ich vhodnosť použitia v projektovej a inžinierskej praxi pri návrhu fotovoltaických systémov.

1 Úvod

Fotovoltaické systémy predstavujú významnú súčasť obnoviteľných zdrojov energie a ich správny návrh má zásadný vplyv na technickú aj ekonomickú efektívnosť investície.

V súčasnosti je k dispozícii viacero softvérových nástrojov na simuláciu výroby elektrickej energie, ktoré sa líšia metodikou práce, tým spojenou presnosťou a dostupnosťou pre používateľa. Medzi známe patria napríklad BlueSol, PVGIS, PVsyst, Polysun, SolarGIS, Helioscope, PV Sol alebo HOMER.[1]

Z uvedených softvérových nástrojov boli zvolené PVGIS, PVsyst a Polysun SPT, najmä pre ich dostupnosť, možnosť využitia všetkých funkcií v skúšobnej dobe, zvýhodnených študentských licencií a skúseností s využitím pri výučbe.

Cieľom práce je porovnať vybrané nástroje, PVGIS, PVsyst a Polysun SPT, na návrh fotovoltaických systémov a posúdiť ich využiteľnosť pri projektovaní a predikcii výroby elektrickej energie.

2 Porovnanie softvérových nástrojov

2.1 Výber objektu a lokality

Fotovoltaický systém je navrhnutý pre konkrétny rodinný dom v lokalite obci Zemianske Podhradie, ktorá sa nachádza v okrese Nové Mesto nad Váhom v Trenčianskom kraji. Presné súradnice rodinného domu sú (48.8697 N, 17.8044 E).

Zvolený objekt predstavuje bežný, stredne veľký rodinný dom, vybudovaný na základe katalógového projektu stavby Bungalov 1472. Ide o 4 izbový rodinný dom, ktorý má obývaciu izbu spojenú s jedálňou a kuchyňou. V dome sa nachádza aj samostatná technická miestnosť. Realizovaná stavba sa mierne líši od pôvodného katalógového projektu. Jednou z hlavných zmien je zmena zdroja tepla, čiže umiestnenie kotla na tuhé palivo v technickej miestnosti, pričom v pôvodnej projektovej

dokumentácii je zdrojom tepla plynový kotol alebo tepelné čerpadlo. Daný zdroj tepla, v konkrétnom prípade kotol na tuhé palivo, zabezpečuje ústredné vykurovanie a prípravu teplej úžitkovej vody pre rodinný dom.[2]

Na základe vyhotovenia energetickej certifikácie budovy bolo zistené, že potreba energie na vykurovanie predstavuje 85 kWh/(m².a), čo zodpovedá energetickej triede B. Potreba energie na prípravu teplej vody predstavuje 21 kWh/(m².a), čo zodpovedá tiež energetickej triede B. Keďže ako nosič energie sa využíva tuhé palivo, potreba elektrickej energie na vykurovanie a prípravu teplej vody je minimálna z celkovej spotreby energie.

Z dostupných údajov pomocou užívateľského konta v ZSE Energia a.s., resp. Energetika Slovensko a.s., sme zistili spotrebu daného odberného miesta v jednotlivých fakturačných obdobiach v rokoch 2019 až 2025.

Tab. 1 Spotreba rodinného domu

Obdobie	Celková spotreba (kWh)	Priemerná mesačná spotreba (kWh)
31.1.2019 - 13.09.2019	1762	234
14.09.2019 - 14.09.2020	3167	259
15.09.2020 - 14.09.2021	3366	277
15.09.2021 - 14.09.2022	3415	281
15.09.2022 - 20.09.2023	3481	284
21.09.2023 - 12.09.2024	3064	257
13.09.2024 - 12.09.2025	3398	279

2.2 Výber FV systému

Pri výbere vhodného fotovoltaického systému bolo zohľadnené, že odberné miesto využíva služby dodávateľa elektrickej energie Energetika Slovensko a.s. Z tohto dôvodu bol výber systému orientovaný na produktové riešenia ponúkané danou spoločnosťou.

Na základe analýzy spotreby elektrickej energie v danom objekte bol ako najvhodnejší variant zvolený produkt Fotovolt Štandard 3 kW.

Zvolený produkt zahŕňa fotovoltaické panely s celkovým inštalovaným maximálnym výkonom 3,48 kWp a striedač značky Huawei, istiace komponenty pre AC a DC stranu, podpernú konštrukciu na mieru a montážny materiál. Okrem samotnej dodávky fotovoltaického systému zvolený produkt zahŕňa aj súhrn sprievodných služieb, ktoré pokrývajú celý proces od návrhu až po uvedenie systému do prevádzky. Súčasťou ponuky je odborná obhliadka objektu, technické poradenstvo pri výbere a umiestnení panelov, ako aj zabezpečenie administratívnych úkonov spojených so žiadosťou o finančný príspevok v rámci programu Zelená domácnosť. Ďalej sú poskytované služby odbornej montáže a kompletného administratívneho zabezpečenia pripojenia systému do distribučnej sústavy, vrátane výmeny a zapojenia elektromera.[3]

Tab. 2 Zariadenia vo Fotovolt Štandard 3kW [3]

Zariadenie	Typ	Počet
Panel	Trina Solar TSM-435 NEG9R.28	8 ks
Striedač	Huawei SUN2000 – 3KTL-M1	1 ks

2.3 Nastavenie simulácií

Pre porovnanie jednotlivých softvérových nástrojov boli pri každom z nich zvolené rovnaké východiskové podmienky a simulačné parametre. Pre potreby tejto simulácie bol stanovený uhol natočenia (azimut) 61° a sklon fotovoltaických panelov 22°, čo zodpovedá orientácii rodinného domu, respektíve strešnej konštrukcie a jej sklonu.

Uvedené parametre majú zásadný vplyv na množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia, a tým aj na výslednú ročnú produkciu elektrickej energie fotovoltaického systému.

2.3.1 PVGIS

Prvotný výpočet očakávanej výroby elektrickej energie fotovoltaického systému pre oblasť Zemianske Podhradie a konkrétny rodinný dom bol realizovaný prostredníctvom internetového nástroja PVGIS. Ide o bezplatný internetový nástroj vyvinutý spoločným výskumným centrom Európskej komisie. Internetový nástroj umožňuje vykonávať niekoľko rôznych typov výpočtov pre sledovanú lokalitu, ako výkon fotovoltaických systémov pripojených k sieti, tzv. „on-grid“ riešenie, výkon polohovateľných sledovacích fotovoltaických systémov, výkon fotovoltaických systémom s akumulátnou batériou, tzv. „off-grid“ riešenie, a klimatické parametre danej lokality. [4]

Výpočet výroby elektrickej energie sme realizovali v tzv. on-grid riešení, kde na základe zadaných vstupných údajov a veličín, ako sú poloha, orientácia a sklon panelov, ako aj ich inštalovaný výkon, umožňuje nástroj odhadnúť predpokladanú výrobu elektrickej energie.[4] V danom nastavení nástroj rozlišuje dva základné typy inštalácie fotovoltaických panelov: „Free-standing“ a „roof added/building integrated“. Voľne stojace systémy tzv. „Free-standing“ sú umiestnené na samostatnej podpernej konštrukcii, ktorá umožňuje dostatočné prúdenie vzduchu v priestore za modulmi. Integrované systémy tzv. „roof added/building integrated“, kde sú panely zabudované

priamo do stavebných prvkov budovy ako napríklad strechy, kde je pohyb vzduchu za modulmi značne obmedzený alebo žiadny.

V súčasnosti je v nástroji PVGIS možné odhadnúť straty spôsobené teplotou a ožiareníem pre typy panelov z kryštalického kremíka, tenkovrstvové články vyrobené z CIS alebo CIGS alebo tenkovrstvové články vyrobené z CdTe.[5] Pre potreby práce boli použité panely s článkami z kryštalického kremíka označeného v nástroji PVGIS ako „Crystalline Silicon“, keďže sme pri výbere fotovoltaického systému zvolili panely z daného materiálu.

Ďalším parametrom ovplyvňujúcim výpočty sú systémové straty. Systémové straty predstavujú súhrn všetkých energetických strát, ktoré spôsobujú, že energia dodaná do siete je nižšia než energia vyprodukovaná fotovoltaickými panelmi. Tieto straty môžu byť spôsobené viacerými faktormi ako elektrický odpor vodičov, neúčinnosť meničov, znečistením povrchu panelov, ako aj sezónnymi vplyvmi, napr. snehovou pokrývkou. V rámci modelu bola pre celkové systémové straty uvažovaná predvolená hodnota 14 %.[4]

2.3.2 PVsyst

Daný softvér predstavuje komplexný profesionálny nástroj určený na návrh, simuláciu a podrobnú analýzu fotovoltaických systémov rôzneho rozsahu, od menších ostrovných, tzv. „off-grid“ riešení až po rozsiahle fotovoltaické elektrárne pripojené do distribučnej siete.

Program pracuje s viacerými vstupnými databázami, ktoré poskytujú údaje potrebné na presnú simuláciu. Jednotlivé databázy využívajú viacero zdrojov klimatických údajov, ako napr. Meteororm, SolarGIS, NASA-SSE, PVGIS alebo NREL. Tieto databázy poskytujú informácie o globálnom slnečnom žiarení, prípadne difúznej zložke slnečného žiarenia, teplote okolia a ďalších meteorologických parametroch, ktoré majú zásadný vplyv na výkon FV systému. Výber poveternostných údajov, ktoré program využíva na výpočet volíme v tzv. „Weather data file“. Pre simuláciu volíme databázu Meteororm 8.2, keďže ďalší porovnávaný nástroj využíva práve danú databázu.

Ďalšou časťou je definovanie samotného systému, kde sa zadáva typ a počet použitých fotovoltaických panelov, striedačov a ich vzájomné zapojenie. Takto zadané údaje umožňujú presne simulovať elektrické parametre zostavy, vypočítať straty a určiť celkovú účinnosť systému. V našom prípade bola zvolená konfigurácia systému Fotovolt Štandard 3 kW, ktorej zloženie je uvedené v Tab. 2. Na základe týchto údajov boli do simulácie pridané príslušné komponenty, čím bola zostava prispôbená reálnym parametrom predpokladanej inštalácie.

Pre našu simuláciu sú v súčasnosti zadané údaje plne postačujúce, aj keď softvér PVsyst ponúka možnosť podrobného nastavenia viacerých doplnujúcich parametrov. Medzi ktoré patria napr. koeficienty ohmických strát, ktoré zohľadňujú úbytky napätia na vedení, alebo koeficient starnutia, prostredníctvom ktorého možno simulovať postupné znižovanie výkonu panelov v priebehu ich životnosti. Tieto rozšírené nastavenia umožňujú vytvoriť ešte presnejší model systému, ale pre potreby tejto práce bude simulácia realizovaná s predvolenými parametrami programu, ktoré predstavujú bežné hodnoty odporúčané pre všeobecné výpočty.[6]

2.3.3 Polysun SPT

Polysun SPT je profesionálny simulačný a návrhový nástroj určený na návrh a hodnotenie fotovoltaických systémov, predovšetkým pre rezidenčné a menšie komerčné aplikácie. Ide o internetovú verziu softvéru Polysun vyvinutého spoločnosťou Vela Solaris, ktorá je určená najmä pre rýchle návrhy a porovnanie variantov fotovoltaických inštalácií.

Významnou výhodou nástroja Polysun SPT je možnosť grafického návrhu systému priamo na podklade mapových alebo leteckých snímok, kde je možné definovať jednotlivé strešné plochy, ich orientáciu a sklon. Program taktiež umožňuje automatický alebo manuálny návrh rozmiestnenia fotovoltaických panelov na streche objektu a následnú optimalizáciu zapojenia v závislosti od zvoleného striedača.

Pri výpočte výroby elektrickej energie využíva Polysun SPT meteorologické údaje z databázy Meteonorm, ktorá poskytuje hodinové hodnoty globálneho slnečného žiarenia, teploty okolia a ďalších klimatických veličín.[7]

Podobne ako v prípade nástroja PVsyst, aj Polysun SPT pracuje s databázou reálnych komponentov, ktorá obsahuje technické parametre fotovoltaických panelov a striedačov. V rámci tejto práce bola v nástroji Polysun SPT zadaná konfigurácia zodpovedajúca systému Fotovolt Štandard 3 kW, pričom boli použité rovnaké parametre orientácie a sklonu strechy ako pri predchádzajúcich simuláciách.

2.4 Porovnanie výsledkov

Výstupné hodnoty výroby elektrickej energie navrhovaného fotovoltaického systému z jednotlivých nástrojov sú uvedené v Tab. 3.

Tab. 3 Potenciál výroby elektrickej energie

E (kWh)	PVGIS	PVsyst	Polysun SPT
Január	88,60	84,8	73,84
Február	150,68	152,7	142,02
Marec	288,42	302,1	287,32
Apríl	400,13	407,9	387,30
Máj	464,19	478,6	455,03
Jún	502,58	509,3	496,92
Júl	509,22	515,2	495,49
August	439,48	447,1	429,10
September	325,58	317,5	295,89
Október	212,80	194,6	177,90
November	99,87	97,1	83,34
December	69,42	58,3	49,82
Celkovo	3551,02	3565,1	3373,96

Porovnaním dosiahnutých hodnôt možno konštatovať, že potenciál výroby elektrickej energie vypočítaný softvérom

PVsyst je optimistickjší v porovnaní s ostatnými použitými nástrojmi. Celkový ročný potenciál výroby stanovený nástrojom PVGIS je približne o 0,4 % nižší než hodnota získaná zo softvéru PVsyst. Tento mierny rozdiel možno pripísať predovšetkým odlišným meteorologickým databázam, ktoré jednotlivé nástroje využívajú.

Výraznejší pokles je pozorovaný pri nástroji Polysun SPT, kde je ročný potenciál výroby nižší až o 5,36 % v porovnaní s PVsyst. Na základe analýzy výstupných dát a diagramov systémových strát jednotlivých nástrojov bolo zistené, že tento rozdiel, napriek zhodným vstupným údajom, je spôsobený odlišným výpočtom a určením strát.

Tab. 4 Hodnoty ročných strát

	PVsyst	Polysun SPT
Globálne horizontálne žiarenie (kWh/m ²)	1165	1165
Zmeny v dôsledku žiarenia (%)	+1,94	-1,03
Efektívne žiarenie v rovine panelov (kWh/m ²)	1188	1153
FV konverzia (%)	21,82	20,76
Nominálna FV energia (kWh)	4143,7	3748,06
Zmeny v dôsledku FV panelov (%)	-6,71	-5,04
Energia na vstupe meniča (kWh)	3865,6	3559,16
Zmeny v dôsledku meniča (%)	-7,77	-5,2
Výstupná elektrická energia (kWh)	3565,1	3373,96

V Tab. 4 uvádzame hodnoty strát s ktorými nástroje pracovali pri výpočte výstupnej elektrickej energie. Samotné nástroje zobrazujú straty pri výpočte obsiahlejšie, ale pre porovnávacie účely, sme znázornili súčet strát medzi jednotlivými úrovňami energie. Keďže oba nástroje využívajú rovnakú meteorologickú databázu, ich vstupná hodnota energie – globálneho horizontálneho žiarenia je rovnaká.

Hodnota globálneho horizontálneho žiarenia vyjadruje celkové množstvo slnečnej energie dopadajúcej na horizontálnu, resp. vodorovnú plochu na jednotku plochy. Zahŕňa priame slnečné žiarenie, svetlo priamo zo slnka, a difúzne žiarenie, svetlo rozptýlené atmosférou či oblakmi.[8]

Pri simulácii výroby elektrickej energie zohráva dôležitú úlohu aj spôsob prepočtu globálneho horizontálneho žiarenia na rovinu fotovoltaických panelov. Tento proces sa označuje ako transpozícia slnečného žiarenia a je realizovaný pomocou rôznych matematických modelov. Jednotlivé simulačné nástroje môžu využívať rozdielne transpozičné modely, napríklad modely Hay-Davies, Perez alebo isotropný model, čo môže

viest' k miernym rozdielom vo výsledných hodnotách efektívneho žiarenia dopadajúceho na povrch panelov.[9]

Pri softvéri PVsyst je možné zvoliť transpozíčný model Hay-Davies alebo Perez, pričom ako prednastavený je použitý Perez model.[10] V nástroji Polysun SPT nie je možné tento model meniť a na transpozíciu slnečného žiarenia na naklonenú rovinu sa používa Perez model.[11]

Pri softvéri PVsyst sa difúzna zložka žiarenia počíta z globálneho horizontálneho žiarenia pomocou Erbs modelu.[12] V nástroji Polysun SPT sa meteorologické údaje zvyčajne preberajú z databázy Meteororm, ktorá obsahuje globálne aj difúzne žiarenie. Ak difúzne žiarenie nie je dostupné, používajú sa rôzne modely implementované v Meteororm.[11]

Zmeny v dôsledku žiarenia predstavujú súčet strát spôsobených napr. orientáciou a sklonom modulu, odrazom od okolitých povrchov, tienením a odrazom od samotného povrchu modulov. Pri danej zmene možno pozorovať rozdiel medzi výsledkami softvérov, pričom PVsyst vykazuje kladnú hodnotu, zatiaľ čo Polysun SPT zápornú hodnotu. Tento rozdiel môže byť spôsobený odlišnými rozloženími globálneho horizontálneho žiarenia alebo odlišným uvažovaním vplyvu odrazu od okolitého povrchu. V dôsledku týchto rozdielných postupov môže jeden program vypočítať mierny nárast efektívneho žiarenia na rovine modulov, zatiaľ čo druhý zaznamená miernu stratu.

Fotovoltická konverzia vyjadruje účinnosť premeny energie slnečného žiarenia na elektrickú energiu vo fotovoltických článkoch. Softvér PVsyst pri výpočte uvažuje s hodnotou účinnosti fotovoltickej konverzie 21,82 %, zatiaľ čo nástroj Polysun SPT používa nižšiu hodnotu 20,76 %. PVsyst pritom vychádza z hodnoty účinnosti deklarovanej výrobcou panelov pri štandardných testovacích podmienkach.

Zmeny v dôsledku FV panelov predstavujú súčet strát spôsobených teplotou modulov, nesúlalom článkov, kvalitou článkov alebo elektrickým odporom.

Zmeny v dôsledku meniča predstavujú súčet strát spôsobených samotným meničom, ako elektrický odpor, účinnosť sledovania bodu maximálneho výkonu alebo vlastnou spotrebou.

Rozdiely medzi jednotlivými simulačnými nástrojmi poukazujú na význam použitých výpočtových modelov a meteorologických databáz, ktoré môžu ovplyvniť výsledný odhad výroby elektrickej energie o niekoľko percent. Pri návrhu fotovoltických systémov je preto vhodné interpretovať výsledky simulácií s určitým stupňom neistoty.

2.5 Porovnanie použitých SW nástrojov

Jednotlivé softvérové nástroje využívajú rozdielne modelovacie prístupy pri výpočte výroby elektrickej energie fotovoltického systému, čo sa následne prejavuje aj na rozdieloch vo výsledných hodnotách. Na základe vykonaných simulácií a porovnania výsledkov je možné zhodnotiť rozdiely, spoľahlivosť a praktickú vhodnosť použitia jednotlivých softvérových nástrojov.

PVGIS predstavuje jednoducho dostupný a rýchly nástroj, jeho hlavnou výhodou je bezplatnosť a jednoduché ovládanie, avšak nevýhodou je obmedzená možnosť detailného nastavenia systému a zjednodušený výpočet strát ako aj absencia ekonomického zhodnotenia daného systému, teda návratnosti.

Je preto vhodný najmä na orientačné výpočty a predbežné posúdenie potenciálu výroby elektrickej energie danej lokality.

Softvér PVsyst možno považovať za najkomplexnejší z porovnávaných nástrojov. Umožňuje výber z viacerých meteorologických databáz. Obsahuje rozsiahlu databázu komponentov, z ktorých je možné zostaviť kompletný fotovoltický systém vrátane ich vzájomného zapojenia, pričom straty sú priamo zohľadňované vo výpočte. Výhodou je aj detailná definícia stratových činiteľov, ako sú straty spôsobené znečistením alebo ohmické straty, spolu s ich prehľadnou vizualizáciou v diagrame strát. Súčasťou softvéru je tiež podrobné ekonomické hodnotenie systému, ktoré umožňuje definovať rôzne modely vlastnej spotreby elektrickej energie, ako aj fixné alebo tarifné ceny elektrickej energie dodávanej do siete. Nevýhodou tejto komplexnosti je vyššia náročnosť na zadávanie vstupných údajov a licenčné obmedzenia.

Internetový nástroj Polysun SPT predstavuje kompromis medzi jednoduchosťou použitia a detailnosťou výpočtu. Podobne ako softvér PVsyst, umožňuje pomerne presnú definíciu systému pomocou obsiahlej databázy komponentov a ich vzájomného prepojenia, ako aj konštrukcie upevňujúcej samotné fotovoltické panely. Jeho silnou stránkou je intuitívne grafické rozhranie, umožňujúce umiestnenie fotovoltických panelov na vymodelovanú strechu posudzovaného objektu a umiestnenie prvkov, ktoré by mohli tieniť daným fotovoltickým panelom. Tieto prvky ovplyvňujú výsledné hodnoty. Na rozdiel od softvéru PVsyst, má Polysun SPT len zjednodušenú možnosť ekonomického zhodnotenia systému, keďže umožňuje nastaviť len percentuálny podiel vlastnej spotreby vyrobenej elektrickej energie a neponúka možnosť definovania rôznych tarifných cien elektrickej energie dodávanej do siete.

Tab. 5 Porovnanie SW nástrojov

	PVGIS	PVsyst	Polysun SPT
Typ nástroja	online nástroj	profesionálny softvér	profesionálny online nástroj
Cena	bezplatný	platená licencia	platená licencia
Meteorologické databázy	PVGIS databázy	Meteororm, SolarGIS, NASA, PVGIS	Meteororm
Databáza komponentov	nie	áno	áno
Detailnosť simulácie	základná	veľmi detailná	stredná
Modelovanie strát	zjednodušené	detailné	čiastočne detailné
Ekonomická analýza	nie	áno	základná
Grafický návrh systému	nie	zložitejší	áno
Vhodnosť použitia	orientačné výpočty	projektovanie FVE	rezidenčné systémy

3 Záver

Na základe vykonaných simulácií a porovnania vybraných softvérových nástrojov možno konštatovať, že aj pri identických vstupných podmienkach dochádza k rozdielom vo výsledkoch odhadu výroby elektrickej energie fotovoltaického systému.

Tieto rozdiely sú spôsobené najmä odlišným vyhodnotením dopadajúceho žiarenia na rovinu fotovoltaických modulov a pri nástroji PVGIS aj použitou odlišnou meteorologickou databázou. Ako je zhrnuté v Tab. 5, nástroj PVGIS sa ukázal ako vhodný najmä na rýchle a orientačné posúdenie výrobného potenciálu lokality, avšak s obmedzenými možnosťami detailného návrhu systému. Softvér PVsyst poskytuje najdetailnejšie nastavenie parametrov fotovoltaického systému a komplexné nastavenie parametrov ekonomického zhodnotenia, vďaka čomu je vhodný najmä pre projektovú a inžiniersku prax. Polysun SPT predstavuje kompromis medzi jednoduchosťou použitia a presnosťou výpočtu. Tento nástroj je vhodný najmä pre návrh rezidenčných systémov a pre potreby montážnych firiem.

Výber vhodného softvérového nástroja pre návrh a hodnotenie výroby elektrickej energie fotovoltaického systému by mal vždy vychádzať z konkrétneho účelu analýzy, požadovanej presnosti výpočtu a dostupnosti vstupných údajov a parametrov.

Podakovanie

Tento článok bol financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu c. 09I04-03-V02-00033.

Tento článok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

Literatúra

- [1] List of solar PV design software tools. *Fuzen - Build SaaS without coding* [online]. [cit. 2026-03-29]. Dostupné na: <https://www.fuzen.io/posts/list-of-solar-pv-design-software-tools>
- [2] *Projekt domu bungalov 1472 | projekt bungalovu | projekty bungalovov Euroline* [online]. [cit. 2025-10-26]. Dostupné na: <https://www.eurolineslovakia.sk/sk/projekty/rodinne-domy/detail-domu/RD-Bungalov-1472>
- [3] Fotovoltický panel Fotovolt Štandard 3 kW. *ZSE* [online]. [cit. 2026-02-22]. Dostupné na: <https://www.zse.sk/produkty/fotovolt-standard-3-kw>
- [4] *Getting started with PVGIS - The Joint Research Centre: EU Science Hub* [online]. [cit. 2025-10-26]. Dostupné na: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis_en

- [5] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [cit. 2025-10-26]. Dostupné na: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [6] *PVsyst documentation* [online]. [cit. 2025-11-10]. Dostupné na: <https://www.pvsyst.com/help/index.html>
- [7] Polysun SPT. *POLYSUN* [online]. [cit. 2026-01-31]. Dostupné na: <https://www.velasolaris.com/en/handbuch/polysun-spt/>
- [8] GUEYDAN, Marion. Solar energy: the theoretical basis. *Encyclopédie de l'énergie* [online]. 7. december 2021 [cit. 2026-02-14]. Dostupné na: <https://www.encyclopedie-energie.org/en/solar-energy-theoretical-basis/>
- [9] DUFFIE, John A. a William A. BECKMAN. *Solar engineering of thermal processes*. 4ème édition. Hoboken: Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-67160-3.
- [10] *Transposition model - PVsyst documentation* [online]. [cit. 2026-03-13]. Dostupné na: <https://www.pvsyst.com/help/physical-models-used/irradiation-models/transposition-model.html>
- [11] MILOSAVLJEVIĆ, Dragana D., Tijana S. KEVKIĆ a Slavica J. JOVANOVIĆ. Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on case study. *Open Physics* [online]. 2022, **20**(1), 431–451. ISSN 2391-5471. Dostupné na: doi:10.1515/phys-2022-0042
- [12] ERBS, D.G., S.A. KLEIN a J.A. DUFFIE. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy* [online]. 1982, **28**(4), 293–302. ISSN 0038092X. Dostupné na: doi:10.1016/0038-092X(82)90302-4

Zborník vybraných prác študentskej vedeckej a odbornej činnosti

Študentská vedecká a odborná činnosť
14. apríl 2026

Organizátor:

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Editori:

Peter Benko
Stanislav Sojak

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU.
Náklad 50 ks CD nosičov

ISBN 978-80-227-5591-7

2.3	FM vysieláč Samuel Bukva	78
2.4	Inteligentná vizuálna kontrola vo výrobnom závode Matej Bašista, Oto Haffner	88
2.5	Využitie Siemens Robot Library na interoperabilné ovládanie kolaboratívneho robota UR3e Samuel Hacker, Oto Haffner	94
2.6	Rozpoznávanie 3D identifikátorov pre účely ovládania výrobnéj linky v rozšírenej realite Egor Shveygert, Erik Kučera	100
2.7	Rozpoznávanie 3D identifikátorov Denis Pudelka, Oto Haffner	105
3	Elektroenergetika, Jadrové a fyzikálne inžinierstvo	111
3.1	Analýza vplyvu geometrie lopatiek na výkonové charakteristiky modelu malej veternej elektrárne Martin Bezák, Marek Pípa	112
3.2	Validácia PV Sol modelu fotovoltaickej elektrárne v MatLabe Robert Irgel, Milan Perný	118
3.3	Porovnanie vybraných softvérových nástrojov pri návrhu fotovoltaických systémov Damián Dalibor Kusovský, Miroslava Farkas Smitková	123
3.4	Porovnanie presnosti katastrálnych máp a CLC pri vyhodnotení potenciálu agrovoltiky Illia Lazarenko, Matej Cenký, Milan Perný	128
3.5	Influence of Layer Thickness and Substrate Temperature on Superconducting Properties of NbTiN Thin Films Nad'a Pániková, Tomáš Ščepka, Marián Precner	135
3.6	Analýza vplyvu rastových podmienok na elektrické vlastnosti súčiastok na báze Ga ₂ O ₃ Zuzana Pospechová, Fridrich Egyenes, S. G. Vadlamudi, et al.	141
3.7	Analýza problematiky zariadení na uskladnenie elektriny a ich vplyvu na prevádzku a rozvoj distribučnej sústavy Radovan Šikuda, Miroslava Farkas Smitková, Jakub Zárecký, et al.	147
3.8	Bezpečnostné analýzy plynom chladeného rýchleho reaktora Adam Turcel, Jakub Lúley	153
4	Elektronika a fotonika	158
4.1	Optimisation of Annealing Temperature for Conductivity Enhancement in Polycrystalline β -Ga ₂ O ₃ Thin Films Grown on Quartz Using Liquid-Injection MOCVD Tadeáš Lukáč, Michal Sobota, Dagmar Gregušová, et al.	159
4.2	Investigation of anisotropy in β -Ga ₂ O ₃ thin films on sapphire substrates Marcel Petřík, Ondrej Pohorelec, Dagmar Gregušová, et al.	164

Členovia programového a recenzného výboru

doc. Ing. Daniel Arbet, PhD
doc. Mgr. Daniela Chudá, PhD.
RNDr. Juraj Chlpík, PhD.
Ing. Marián Choma
doc. Ing. Aleš Chvála, PhD.
Ing. Martin Dekan, PhD.
doc. Ing. Martin Ernek, PhD.
doc. Mgr. Miroslava Farkas Smitková, PhD.
doc. Ing. Miroslav Halás, PhD.
doc. Ing. Mária Hypiusová, PhD.
doc. Ing. Peter Janiga, PhD.
Ing. Tomáš Janvars, PhD.
doc. Ing. Kvetoslava Kotuliaková, PhD.
doc. Ing. Jaroslav Kováč, PhD.
Ing. Soňa Kováčová, PhD.
doc. Ing. Ladislav Körösi, PhD.
doc. Ing. Erik Kučera, PhD.
Ing. Matej Matuš, PhD
Ing. Patrik Novák, PhD.
Ing. Vladislav Novák
Ing. Kristián Ondrejčka, PhD.
Ing. Milan Perný, PhD.
Ing. Štefan Počarovský, PhD.
prof. Ing. Rastislav Róka, PhD.
Ing. Dávid Szépvölgyi
Ing. Šimon Tibenský
Ing. Michal Tölgyessy, PhD.
Ing. Izabela Trepáčová
doc. Ing. Erik Vavrinský, PhD.
doc. Ing. Milan Vojvoda, PhD
prof. Ing. Pavol Zajac, PhD.
Ing. Filip Zúbek