

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS  
FAKULTĀTE  
FIZIKAS NODAĻA

**SAULES PANEĻU EFEKTIVITĀTE LATVIJAS KLIMATĀ**

BAKALaura DARBS

Autors: **Viktorija Leimane**

Studenta apliecības Nr.: vl16047

Darba vadītājs: Dr. Phys. Andris Jakovičs

RĪGA 2019

## ANOTĀCIJA

Darba mērķis ir noteikt efektīvāko saules paneļu izvietojuma veidu Latvijai tipiskos meteoroloģiskajos apstākļos. Balstoties uz divu veidu saules paneļiem, kas novietoti piecās dažādās telpiskajās orientācijās Latvijas Universitātes Botāniskā dārza teritorijā, tiks noteikta solāro paneļu efektivitātes atkarība no mainīgiem parametriem: 1) meteoroloģiskie apstākļi 2) telpiskā orientācija 3) gada mēnesis 4) solāro paneļu tips.

Iegūtie monitoringa rezultāti tiks analizēti kontekstā ar šo paneļu efektivitātes fizikālo novērtējumu.

**Atslēgas vārdi:** Saules enerģijas paneļi, atjaunojamo energoresursu enerģija, vides monitorings

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to determine the most efficient way of solar panel arrangement for typical weather conditions in Latvia. Based on two types of solar panels placed in five different spatial orientations in the University of Latvia Botanical Garden area, the dependency of the efficiency of solar panels on following variable parameters will be established: 1) meteorological conditions 2) spatial orientation 3) month of year 4) type of solar panels.

The results of monitoring will be analyzed in the context of a physics based assessment of the effectiveness of these panels.

**Keywords:** Solar panels, renewable energy, environmental monitoring

# SATURS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS .....	4
IEVADS .....	5
1 LITERATŪRAS APSKATS .....	6
1.1 Saules apstarojums.....	6
1.1.1 Saules stāvoklis debesīs .....	7
1.2 Klimats Latvijā.....	11
1.3 Saules paneļi .....	12
1.3.1 Paneļu veidi .....	14
2 REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	15
2.1 Saules apstarojums.....	15
2.2 Saules paneļi .....	18
SECINĀJUMI .....	24
PATEICĪBAS .....	25
IZMANTOTĀ DARBA LITERATŪRA UN AVOTI .....	26

## APZĪMĒJUMU SARAKSTS

TSI - Kopējais saules apstarojums,  $\text{Wm}^{-2}$

SSI - Saules spektrālais apstarojums,  $\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$

PV - Saules fotoelements

PVOUT – Saules fotoelementa potenciālā jauda,  $\text{kWh/kWp}$

GHI – Globālais horizontālais apstarojums,  $\text{kWh/m}^2$

DIF – Difūzais horizontālais apstarojums  $\text{kWh/m}^2$

GTI – Globālais apstarojums virsmai optimālā slīpumā,  $\text{kWh/m}^2$

OPTA – Optimālais slīpums enerģijas ieguves maksimizēšanai gada griezumā, °

DNI – Direct normal irradiation,  $\text{kWh/m}^2$

DSR - Direct solar radiation

## IEVADS

Apvienoto Nāciju Organizācijas Klimata konferencē Parīzē 2015. gada decembrī puses no visas pasaules vienojās ierobežot globālo sasilšanu zem 2 °C salīdzinājumā ar pirmsindustriālo laikmetu. Tāpēc Eiropas Savienībā noteikts dalībvalstīm saistošs mērķrādītājs – vismaz 32% atjaunojamās enerģijas īpatsvars līdz 2030. gadam.[2]

Ne mazāk būtisks ir atjaunojamo energoresursu pieesums energoapgādes neatkarības un drošības veicināšanā, tehnoloģiju attīstībā un inovācijās, vienlaikus sniedzot labumu videi un sabiedrībai, kā arī nodrošinot svarīgus priekšnosacījumus nodarbinātībai, reģionālajai attīstībai un elektrības nodrošināšanai grūti pieejamās vietās. [2]

Saules enerģija ir labs kandidāts mazināt klimata pārmaiņu sekas un nodrošināt efektīvu energoapgādi. Pēdējā desmitgadē veiktās investīcijām Saules enerģijā manifestējās inovācijās saules paneļu ražošanā, un gala rezultātā tie ir kļuvuši finansiāli pieejamāki patērētājiem, piemēram, uz silīcija balstītu paneļu cena sastāda mazāk nekā 30% no kopējām saules paneļu sistēmas uzstādīšanas izmaksām un to saražotā enerģija atmaksājas vidēji trīs gadu periodā.[5]

Šī pētījuma mērķis ir analizēt un praktiski pārbaudīt divu tipu (JA un LG) saules paneļu atšķirīgos uzstādījuma risinājumus - trīs virzienu (dienvidi, rietumi, austrumi) un trīs leņķu (13, 40, 90) grupas - un to piemērotību Latvijai tipiskiem meteoroloģiskajiem apstākļiem.

### Darba uzdevumi

- Ievākt, atlasīt un analizēt saules paneļu datus un novērtēt to kvalitāti.
- Izveidot iespējami automatizētu datu apstrādes sistēmu R valodā.
- Salīdzināt paneļu efektivitāti atbilstoši to parametru apakšklasēm.

### Darba struktūra

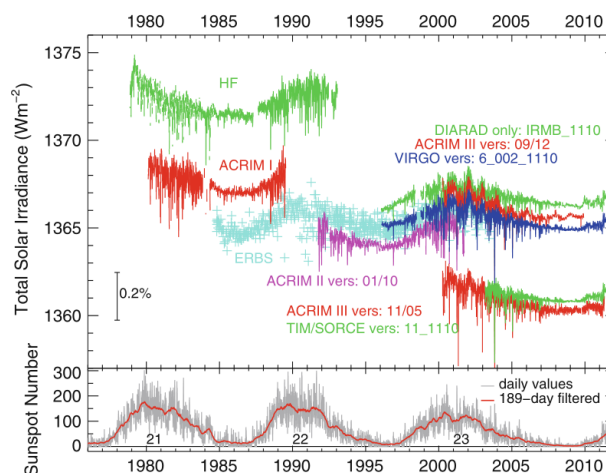
Darba pirmā daļā sastāv no literatūrā pieejamo Saules apstarojuma novērtējumu pamatojuma un teorijas apskata par Saules redzamo pārvietošanās pie debess sfēras diennakts laikā dažādos mēnešos. Otrajā daļā aplūkota saules paneļu uzbūve un darbības princips, kā arī sistēmas shēma un uzstādījumu parametru raksturojums. Trešā daļā ir apskatīti rezultāti aprakstītajiem saules paneļiem, tie salīdzināti savā starpā un ar eksperimentālā poligona meteostacijas stacijas datiem par solāro apstarojumu šajā laika periodā.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Saules apstarojums

Lielākā daļa Saules emitētās enerģijas tiek saražota kodolreakcijās fotosfērā. Kopējais saules apstarojums (TSI) raksturo Saules starojuma absolūto intensitāti, enerģiju uz virsmas perpendikulāri starojuma izplatīšanas virzienam 1 AU attālumā no Saules, integrēta visā saules enerģijas diskā un visā saules enerģijas spektrā. [1] TSI vērtībai novērojama aptuveni 11 gadus ilga periodiska variācija, kas korelē ar saules plankumu skaitli (1.1. att.) un norāda uz solārās radiācijas izmaiņām, kas ietekmē saņemto solārās enerģijas apjomu uz Zemes atmosfēras augšējiem slāņiem. Papildus ir noderīgi zināt saņemtā starojuma spektrālo sadalījumu (SSI) – 1.2. attēlā redzams, ka aptuveni puse starojuma tiek saņemta 380 – 780 nm diapazonā, kas padara iespējumu no tā iegūt enerģiju ar saules panelu paņēmieni.

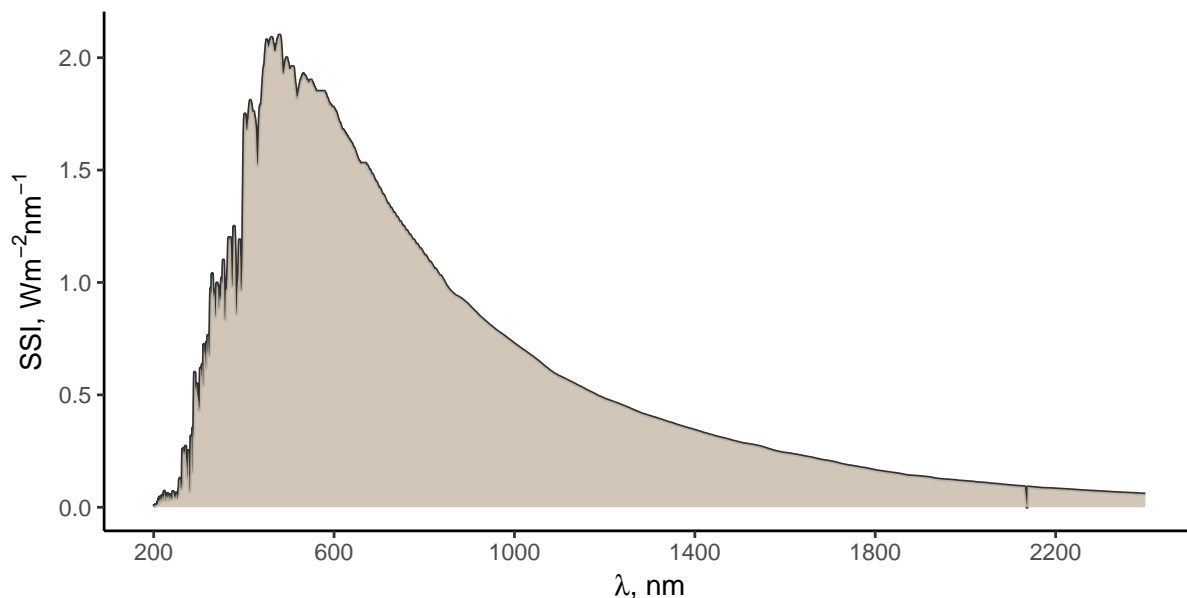
TSI novērojumi no kosmosa tiek veikti kopš 1978. gada un instrumentu specifikas dēļ iegūtas dažādas absolūtās vērtības (1.1. att.), tāpēc šī fizikālā lieluma tikai daļēji pārkājušos novērojumu laikrindu apvienošana kompozītā ir gan zinātnisks, gan statistisks izaicinājums un neviens kompozīts (piemēram, PMOD, ACRIM, IRBM) līdz šim nav guvis konsensu solārā apstarojuma pētnieku kopienā.



**1.1. att. Salīdzinājums dienā vidējotiem saules kopējā apstarojuma datiem no dažādām misijām un Saules plankuma skaitlis, lai ilustrētu solārās aktivitātes variabilitāti trīs ciklos. [3]**

Par labāko saules apstarojuma mērījumu reprezentāciju tiek uzskatīti TIM instrumenta dati mērāparāta uzbūves (atšķirībā no citiem radiometriem TIM precizitātes apertūra atrodas tuvu

dobumam un redzeslauku bloķējošā apertūra ir pie instrumenta ieejas) un augstās precizitātes – nenoteiktība tiek novērtēta esam mazāk nekā  $0.014 \text{ Wm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  un precizitāte ar  $0.48 \text{ Wm}^{-2}$  [4] – dēļ, tāpēc šajā darbā grafiki balstās uz šiem mērījumiem, pēc kuriem absolūtā kopējā saules apstarojuma vērtība ir  $1360.8 \pm 0.5 \text{ Wm}^{-2}$ . [3]



2019-01-13

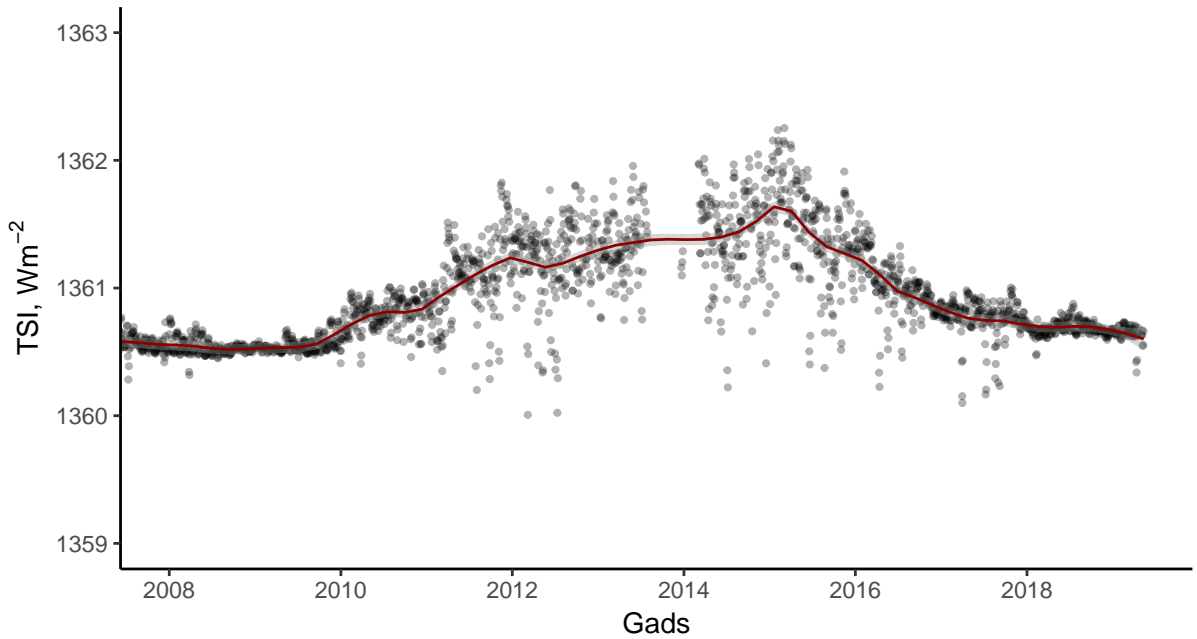
1.2. att. SSI 1AU attālumā (24 h vidējā vērtība) [6]

### 1.1.1. Saules stāvoklis debesīs

Ģeometriskās attiecības starp saules paneļa virsmas plakni un ienākošo Saules starojuma kūli jeb Saules pozīcija relatīvi pret šo plakni tiek aprakstīta ar vairākiem leņķiem. Ar  $\theta$  apzīmēsim staru krišanas leņķi uz saules paneli, pieņemot saules paneli par nekustīgu plakni. Tad, pie nemainīgās starojuma intensitātes, paneļa saņemtā enerģija būs proporcionāla  $\cos \theta$  (ja  $\theta < 90^\circ$ ) vai būs vienāda ar 0 (ja  $\theta > 90^\circ$ , t.i., Saules stari krīt uz paneļa apakšējo virsmu) pēc formulas (1.1). Saules diennakts kustība, gadalaiku cikls, ka arī saules paneļa novietojums ir ievēroti izteiksmē, kas ļauj aprēķināt  $\cos \theta$  [1]:

$$E = I \cdot \cos(\theta) \quad (1.1)$$





1.3. att. TSI 24. saules ciklā 1AU attālumā (24 h vidējā vērtība)[4]

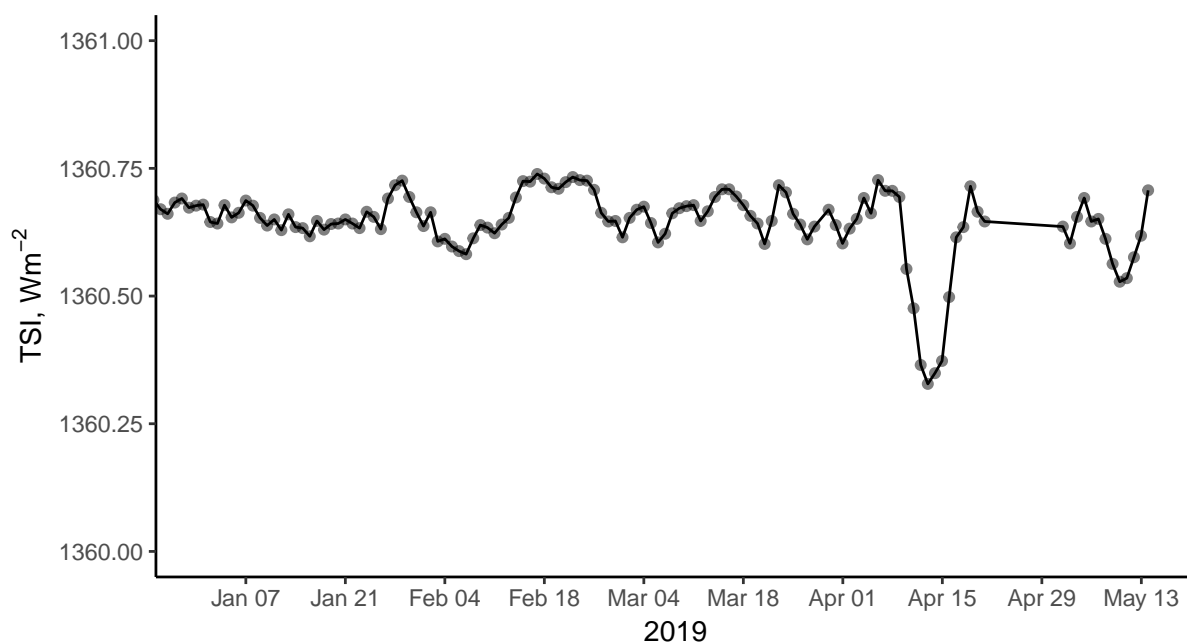
$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \\ & \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \\ & \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega, \end{aligned} \quad (1.2)$$

kur lietoti leņķi, kas definēti 1.1 tabulā. Saules deklināciju solārajā pusdienlaikā var aprēķināt pēc formulas

$$\delta = 23 \sin \left( 360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right), \quad (1.3)$$

kur  $n$  ir dienas kārtas numurs gadā.

Ar vienādojumu (1.2) un (1.3) palīdzību ir iespējams aprēķināt  $\cos \theta$  atkarības no laika, kas ir pirmais tuvinājums Saules apstarojuma izmaiņām dienas laikā. Parametru vērtības katram no darbā lietotajiem Saules paneļiem ir apkopotas 1.2. tabulā. Lietojot šos parametrus, tika aprēķinātas  $\cos \theta$  atkarības no laika diviem datumiem: 1. janvārim un 30. aprīlim (skat. 1.5. att.). No tā secināms, ka austrumu virzienā uzstādītais panelis saņem vairāk apstarojuma no rīta nekā rietumu virzienā vērsts panelis. Pēc šī aprēķina iespējams prognozēt paneļu saražotās enerģijas izmaiņas gada griezumā, piemēram, no dienviņu paneļiem janvārī efektīvākais  $90^\circ$  leņķis vērsts, jo Saule atrodas zemu pie horizonta, bet aprīlī efektīvākais ir  $40^\circ$  leņķis.



1.4. att. TSI izmaiņas solāro paneļu datu ieguves laikā 1AU attālumā (24 h vidējā vērtība)[4]

1.1. tabula

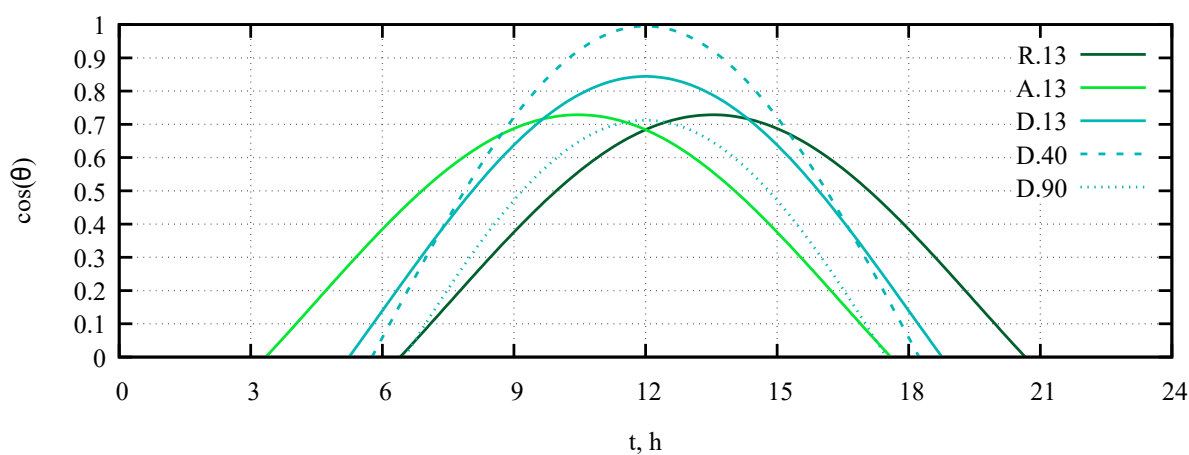
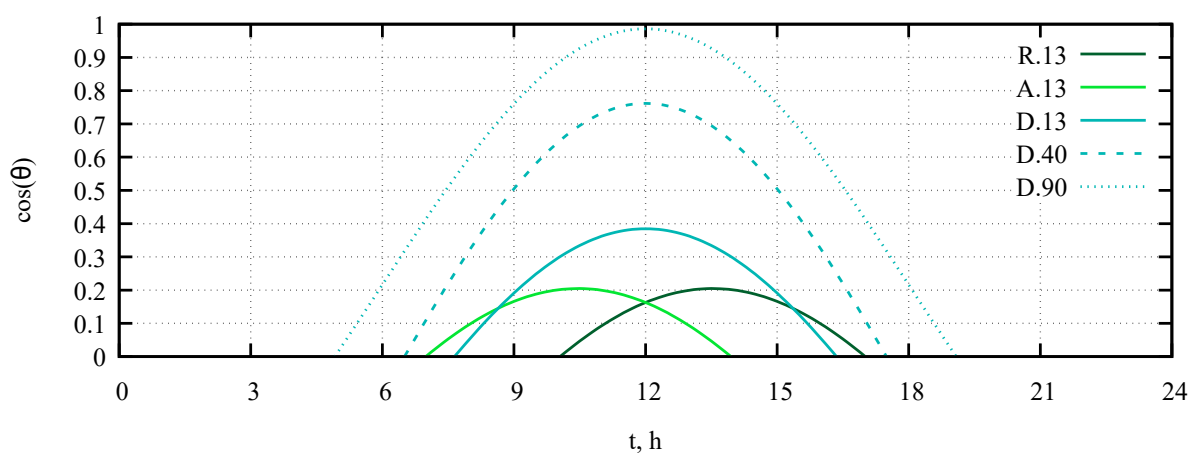
**Leņķu, kas lietoti (1.2) vienādojumā, definīcijas.**

	apgabals	definīcija
$\theta$	$(0^\circ; 180^\circ)$	staru krišanas leņķis uz Saules paneli
$\delta$	$(-23^\circ; 23^\circ)$	Saules deklinācija — leņķis starp virzieniem uz Sauli un uz debess ekvatoru solārajā pusdienlaikā, pozitīvs Z virzienā
$\phi$	$(-90^\circ; 90^\circ)$	ģeogrāfiskais platums, pozitīvs Z virzienā
$\beta$	$(0^\circ; 180^\circ)$	paneļa slīpums — leņķis starp Saules paneļa virsmu un horizontāli
$\gamma$	$(-180^\circ; 180^\circ)$	paneļa azimuts — leņķis starp virsmas normāles projekciju uz horizontālu plakni un D virzienu, negatīvs A virzienā
$\omega$	$(-180^\circ; 180^\circ)$	solārais stundu leņķis — leņķis starp Saules stara virziena projekciju uz horizontālu plakni un D virzienu (kas mainās Zemes rotācijas ap savu asi dēļ), negatīvs no rīta

1.2. tabula

Darbā lietotajiem Saules paneļiem atbilstošās leņķisko parametru vērtības, grādos.

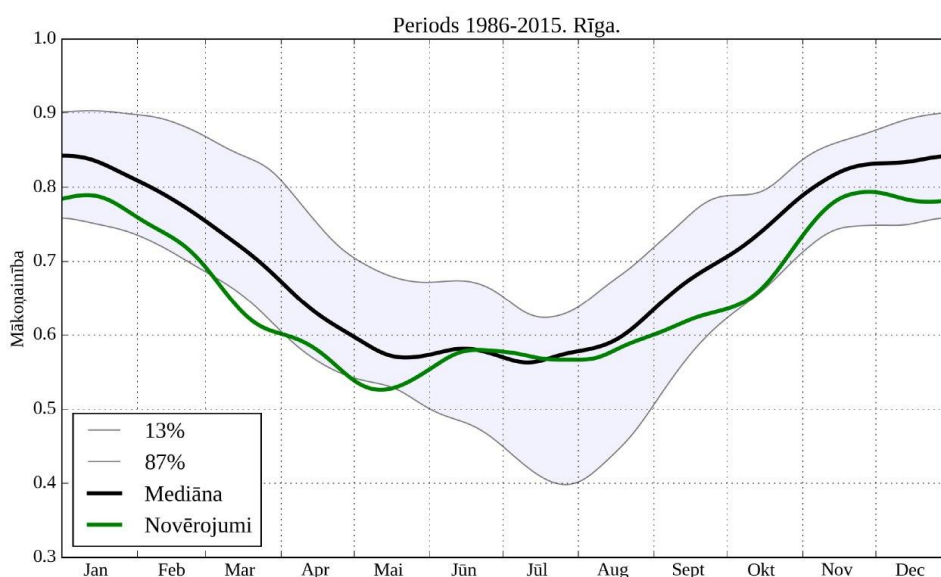
	R.13	A.13	D.13	D.40	D.90
paneļa slīpums $\beta$	13			40	90
paneļa azimuts $\gamma$	90	-90	0		
ģeogrāfiskais platums $\phi$	57				



1.5. att. Diennakts laikā paredzētas  $\cos(\theta)$  vērtības darbā lietotajiem Saules paneļiem, aprēķinātas pēc (1.2) izteiksmes 1. janvārim (augšā) un 30. aprīlim (apakšā).

## 1.2. Klimats Latvijā

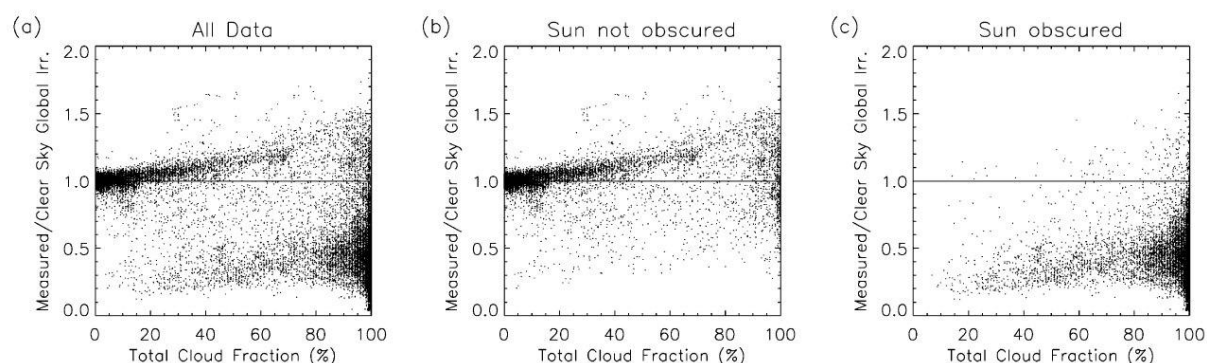
Saskaņā ar LU VTPMML klimatisko datu apkopojumu, kas parādīts 1.6. att., mākoņainība Rīgā var sasniegt līdz 60% jūlijā un līdz pat 90% decembrī. Tas nozīmē, ka Saules paneļu efektivitātes novērtējumam Latvijas klimatā ir jāņem vērā mākoņainība. Tas palīdzēs prognozēt nepieciešamus enerģijas uzkrājumus un papildavotus, ja solārā enerģija tiek izmantota kā pamata enerģijas avots.



1.6. att. Vidējā mākoņainība Rīgā gada laikā, vidējota pa 20 gadu periodu. Attēls no [<http://www.modlab.lv/klimats/Parametri/cloud/Cloud.html>].

Mākoņu ietekme ir atkarīga arī no to veida. Lielums CMF (angl. *Cloud Modification Factor*, mākoņu modifikācijas reizinātājs), ko definē kā attiecību starp apstarojumu gadījumos ar un bez mākoņiem, atkarībā no mākoņu tipa ir apkopots 1.3. tabulā. Ir jāņem vērā, ka CMF ir atkarīgs no viļņa garuma. Tomēr ultravioletais CMF no redzamās gaismas CMF ir atkarīgs lineāri ar koeficientiem  $\approx 0.6 - 1$  gubumākoņu gadījumā un eksponenciāli spalvmākoņu gadījumā.

Mākoņu ietekmes uz Saules apstarojumu modelēšana ir ļoti sarežģīta. Mērījumi parāda, ka mākoņi absorbē par  $25 \text{ W/m}^2$  vairāk gaismas, nekā teorētiski paredzams, un šī vērtība nevar būt izskaidrojama ar troposfēras aerosoliem.



1.7. att. Attiecība starp izmērīto apstarojumu un tīrās debess gadījuma apstarojumu (a) visiem datiem, (b) gadījumos ar neaizsegtu Sauli un (c) gadījumos ar aizsegtu Sauli. Attēls no [cloud\_coverage\_impact\_on\_solar\_irradiance.pdf].

1.3. tabula

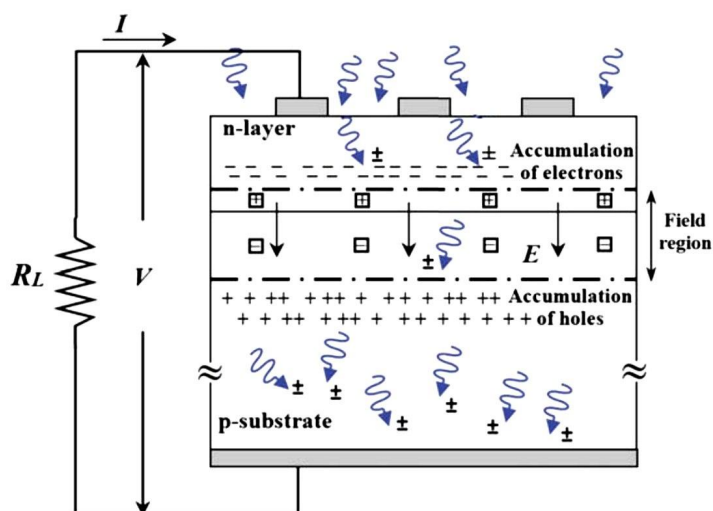
CMF intervāls atkarībā no mākoņu tipa[effect\_of\_clouds\_on\_surface\_ubv.pdf]

augstie gubumākoņi	< 0.7
gubumākoņi	0.2 – 1.3
spalvmākoņi	0.6 – 1

### 1.3. Saules paneli

Saules paneli sastāv no fotoelementiem, kas pārveido gaismas enerģiju elektriskajā enerģijā. Fotoelements, kura uzbūves shēma ir parādīta 1.8. attēlā, ir p-n pāreja ar elektriskiem kontaktiem, kas pieslēgti pie lādētāja vai citas enerģijas patērētāja. Fotoelementa apakšējā daļa sastāv no n-tipa pusvadītāja, kurā lādiņa pamatnesēji ir elektroni, bet augšējā daļa — no p-tipa pusvadītāja, kur lādiņa pamatnesēji ir caurumi.

Fotoelementa darbība balstās uz iekšējo fotoelektrisko efektu — parādību, kad elektrons tiek ierosināts ar gaismas kvantu un pāriet no valences zonas uz vadītspējas zonu. Kad tas notiek augšējā slānī (p-tipa pusvadītājā), elektrons atgrūžas no robežas starp slāņiem, kura ir negatīvi lādēta rekombinācijas dēļ. Negatīvi lādēta (no p-tipa pusvadītāja puses) robeža rada potenciālu starpību, kas veicina elektronu kustību pa vadiem uz patērētāju, tādā veidā radot elektrisko strāvu.



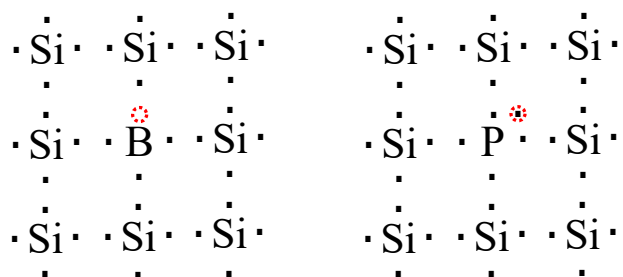
1.8. att. Saules paneļa shēma. Tas sastāv no fotoelementiem, kuru augšējais slānis veidots no p-tipa pusvadītāja, bet apakšējais — no n-tipa pusvadītāja.

P-tipa un n-tipa pusvadītāja īpašības var panākt, piemēram, dopējot silīcija kristālu ar attiecīgi III vai V grupas elementiem. Ja silīcija kristālam pievieno bora atomus nelielā koncentrācijā, izveidojas 1.9. att. pa kreisi redzamā situācija. Katram Si atomam ir četri elektroni ārējā čaulā, ar kuru palīdzību atoms izveido četras kovalentās saites ar četriem citiem atomiem. Savukārt bors, būdams III grupas elements, var izveidot tikai trīs saites. Tādā veidā pie bora atoma parādās "caurums" — nenoslēgta kovalentā saite, kas attēlā apzīmēta ar sarkanu līniju. Uz šo vietu var pārvietoties kāds no blakus esošiem elektroniem, bet tad neaizpildīta vieta parādīsies pie blakus esošā atoma. Tādā veidā var uzskatīt, ka caurums "pārvietojas", un nosaukt to par pozitīvo lādiņa nesēju. Šādus pusvadītājus sauc par p-tipa pusvadītājiem.

Ja silīcija kristālam pievieno fosfora atomus, izveidojas pretēja situācija — pie P atoma parādās elektrons, kas nepiedalās saites veidošanā (sk. att. 1.9., pa labi). Lai pārvietotos, brīvajam elektronam ir nepieciešams mazāk enerģijas nekā elektroniem, kas veido kovalentās saites starp Si atomiem. Tātad, lādiņa pamatnesēji n-tipa pusvadītājos ir elektroni, un šādus pusvadītājus sauc par n-tipa pusvadītājiem.

Dopējot divus blakus esošus Si kristāla apgabalus dažādā veidā, iegūst p-n pāreju. Uz robežas starp apgabaliem elektroni no n-tipa apgabala var difūzijas ceļā nokļūt uz p-tipa apgabalu un aizpildīt tos caurumus, kas atrodas pietiekami tuvu. To sauc arī par elektronu-caurumu rekombi-

nāciju. Tādā veidā p-tipa pusvadītāja mala uzlādējās negatīvi.



1.9. att. Silīcija kristāla 2D izklājums, atomu ārējās čaulas elektroni ir apzīmēti ar punktiem. Pievienojot bora atomu, iegūst p-tipa pusvadītāju (pa kreisi), bet fosfora atomu — n-tipa pusvadītāju (pa labi).

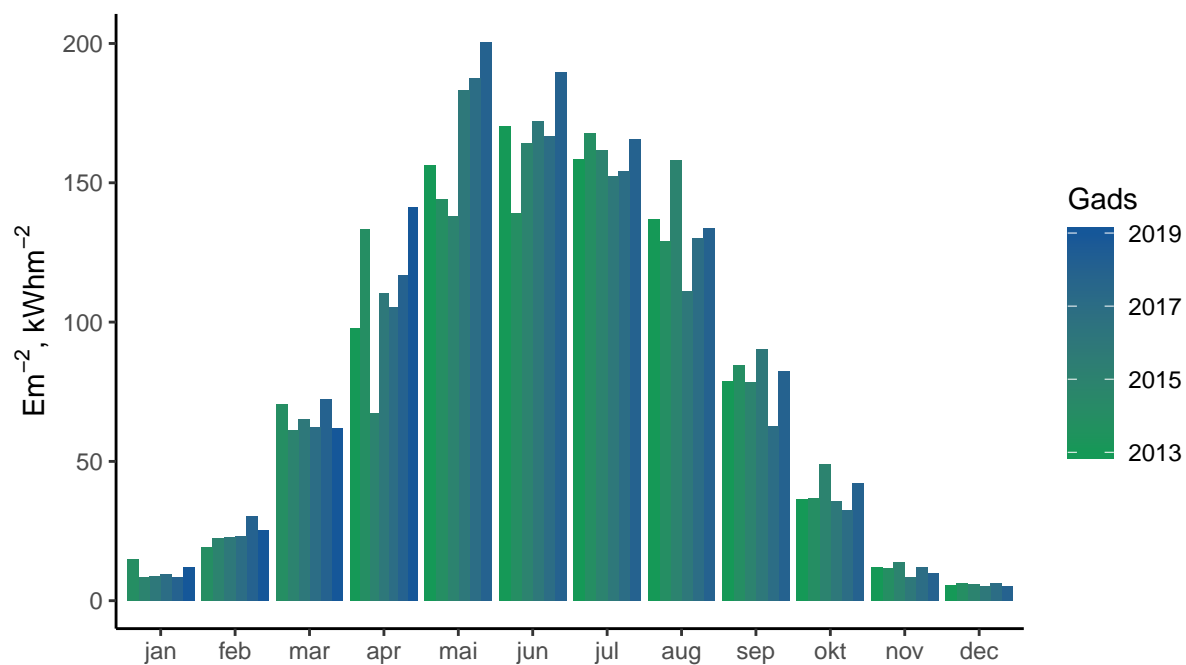
### 1.3.1. Paneļu veidi

Darbā ir apskatīti divi Saules paneļu veidi:

- LG
- JA

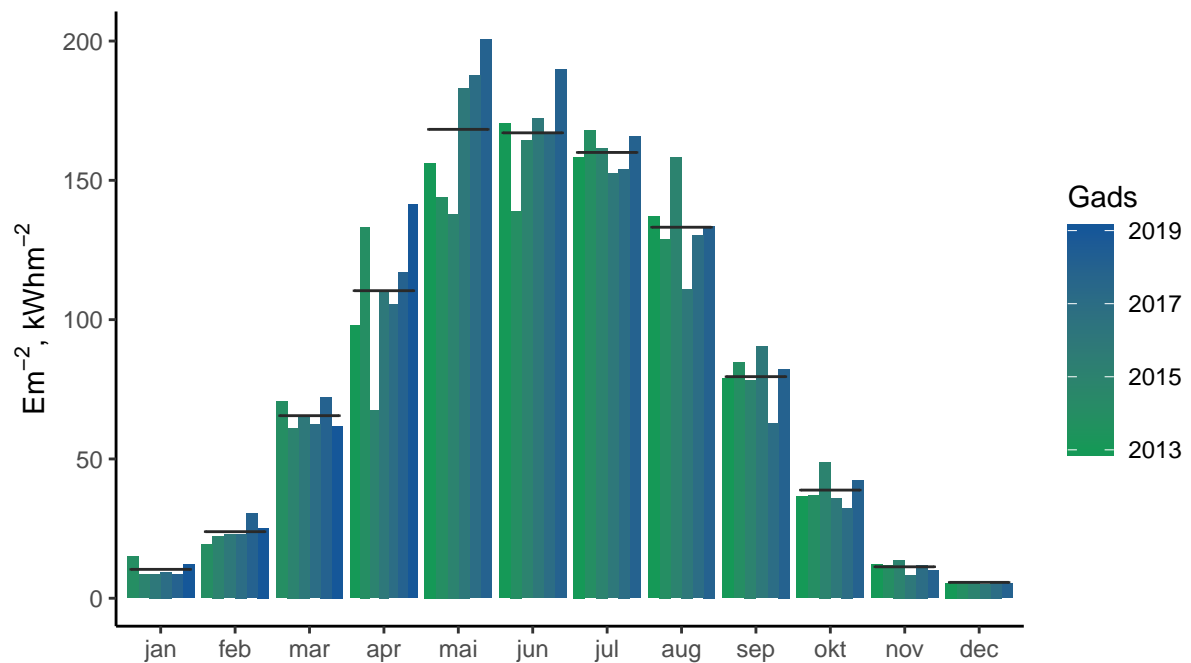
## 2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

### 2.1. Saules apstarojums

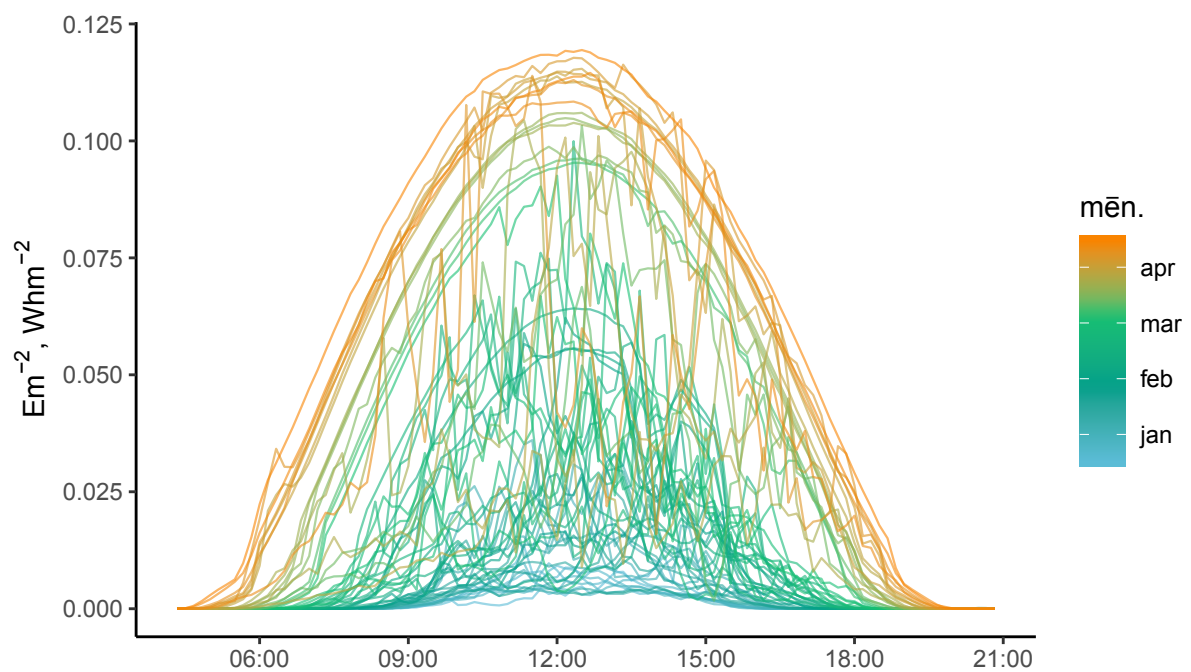


2.1. att. Solārā apstarojuma laika integrāļa atšķirības gada gaitā. Eksperimentālā poligona meteorostacijas stacijas dati 2013 – 2019 periodā.

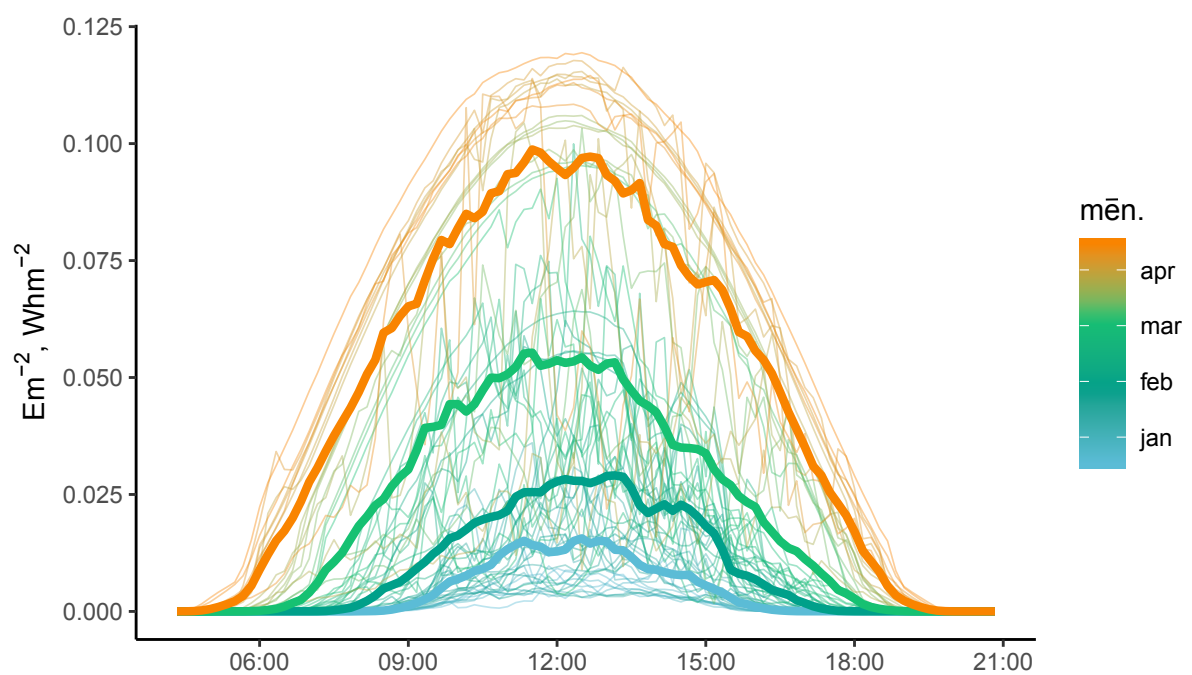




2.2. att. Solārā apstarojuma laika integrāla atšķirības gada gaitā un to vidējās vērtības. Eksperimentālā poligona meteostacijas stacijas dati 2013 – 2019 periodā.



2.3. att. Solārā apstarojuma izmaiņas dienas gaitā. Eksperimentālā poligona meteostacijas stacijas dati 2019-01-01 – 2019-04-31 periodā.



2.4. att. Mēnesī vidējotas solārā apstarojuma izmaiņas dienas gaitā. Eksperimentālā poligona meteorostacijas stacijas dati 2019-01-01 – 2019-04-31 periodā.

## 2.2. Saules paneļi

2.1. tabula

**JA tipa paneļu saražotā enerģija uz kvadrātmetru**

E, Whm <sup>-2</sup>	A.13	R.13	D.13	D.40	D.90	meteo
jan	346.66	227.28	716.37	2461.00	2802.04	12138.68
feb	3198.12	2742.33	4266.63	6448.71	5989.95	25142.93
mar	8222.23	7397.80	9472.24	11938.03	8717.90	61764.12
apr	19886.40	19230.18	23268.02	25425.75	18249.96	141410.71

2.2. tabula

**JA tipa paneļu efektivitāte**

E	A.13	R.13	D.13	D.40	D.90
jan	0.03	0.02	0.06	0.20	0.23
feb	0.13	0.11	0.17	0.26	0.24
mar	0.13	0.12	0.15	0.19	0.14
apr	0.14	0.14	0.16	0.18	0.13
vid	0.11	0.10	0.14	0.21	0.18

2.3. tabula

**JA tipa paneļu efektivitāte procentos**

E, %	A.13	R.13	D.13	D.40	D.90
jan	2.86	1.87	5.90	20.27	23.08
feb	12.72	10.91	16.97	25.65	23.82
mar	13.31	11.98	15.34	19.33	14.11
apr	14.06	13.60	16.45	17.98	12.91
vid	10.74	9.59	13.67	20.81	18.48

2.4. tabula

**LG tipa paneļu saražotā enerģija uz kvadrātmetru**

E, Whm <sup>-2</sup>	A.13	R.13	D.13	D.40	D.90	meteo
jan	495.5	347.83	950.75	2816.81	3215.06	12138.68
feb	4431.55	3625.5	5046.58	8253.64	7413.21	25142.93
mar	10916.97	9267.88	11271.89	15694.83	11337.26	61764.12
apr	27632.28	25460.2	29136.2	34213.52	23176.05	141410.71

2.5. tabula

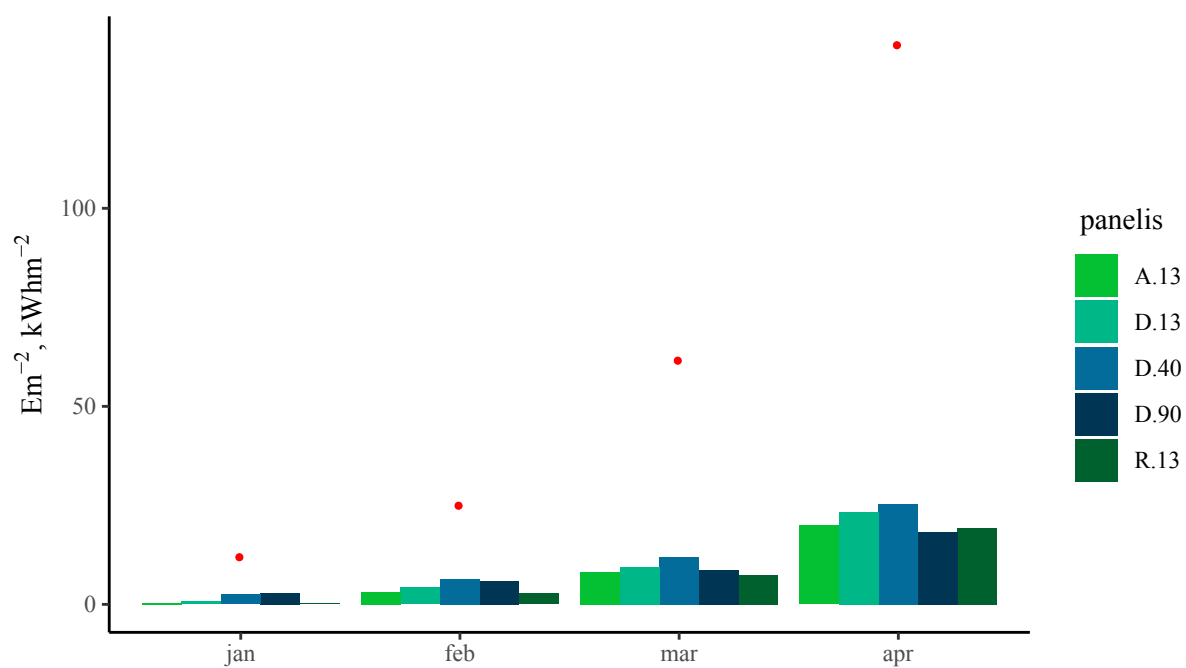
**LG tipa paneļu efektivitāte**

E	A.13	R.13	D.13	D.40	D.90
jan	0.04	0.03	0.08	0.23	0.26
feb	0.18	0.14	0.20	0.33	0.29
mar	0.18	0.15	0.18	0.25	0.18
apr	0.20	0.18	0.21	0.24	0.16
vid	0.15	0.13	0.17	0.26	0.23

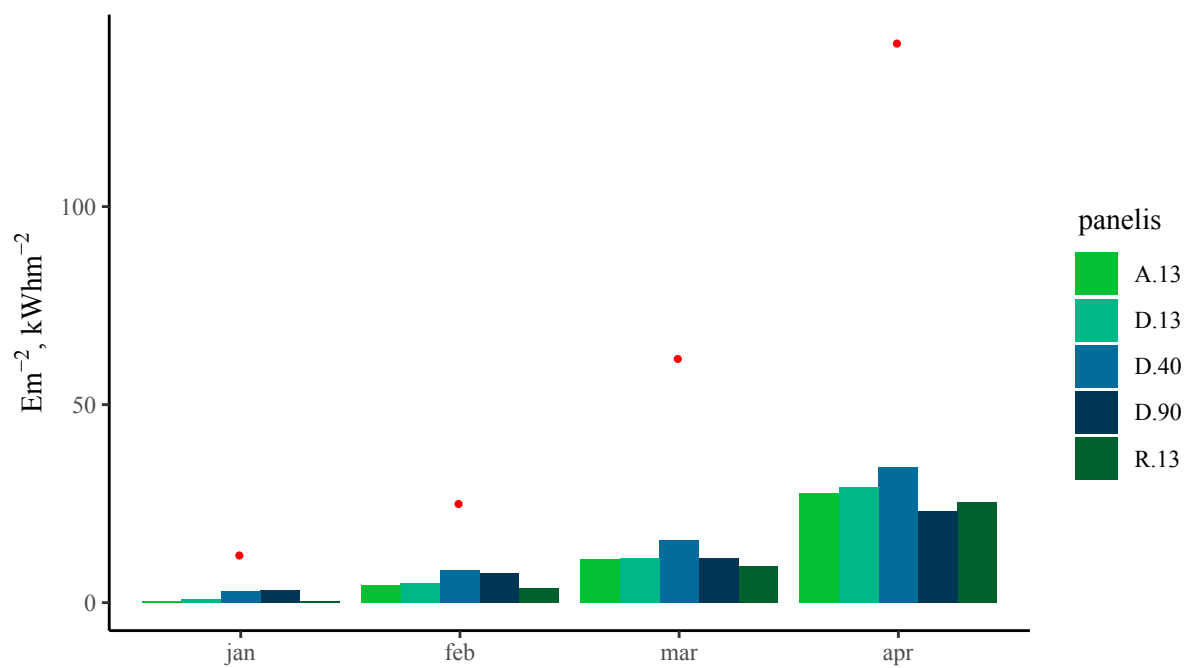
2.6. tabula

**LG tipa paneļu efektivitāte procentos**

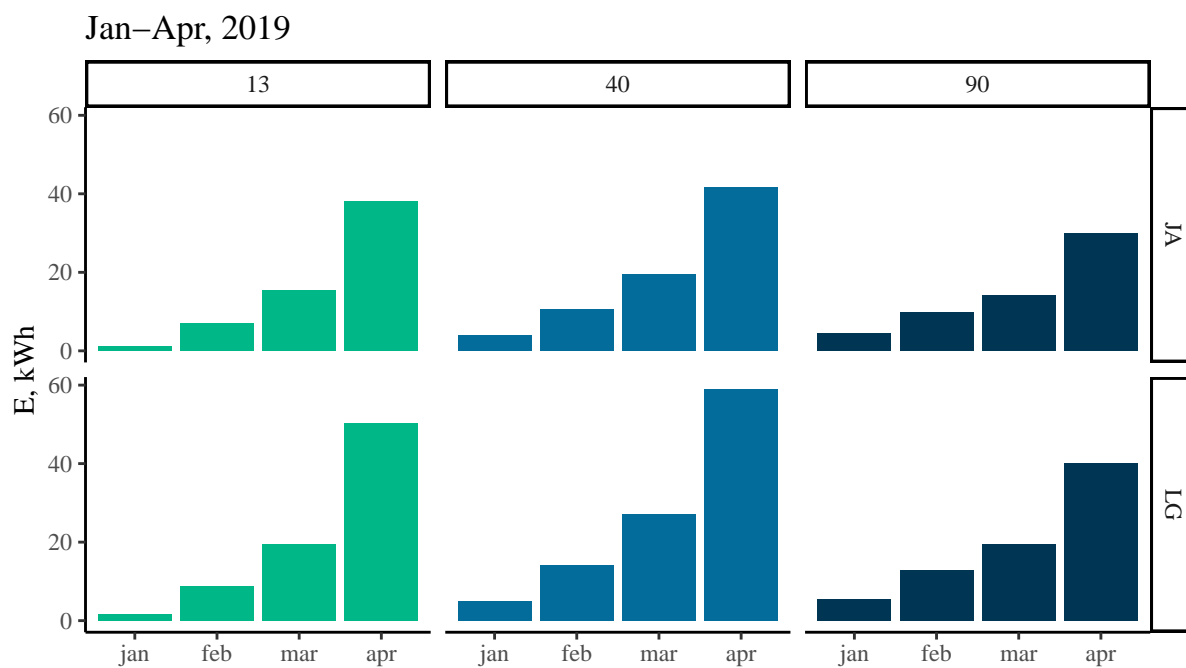
E, %	A.13	R.13	D.13	D.40	D.90
jan	4.1	2.9	7.8	23.2	26.5
feb	17.6	14.4	20.1	32.8	29.5
mar	17.7	15.0	18.2	25.4	18.4
apr	19.5	18.0	20.6	24.2	16.4
vid	14.7	12.6	16.7	26.4	22.7



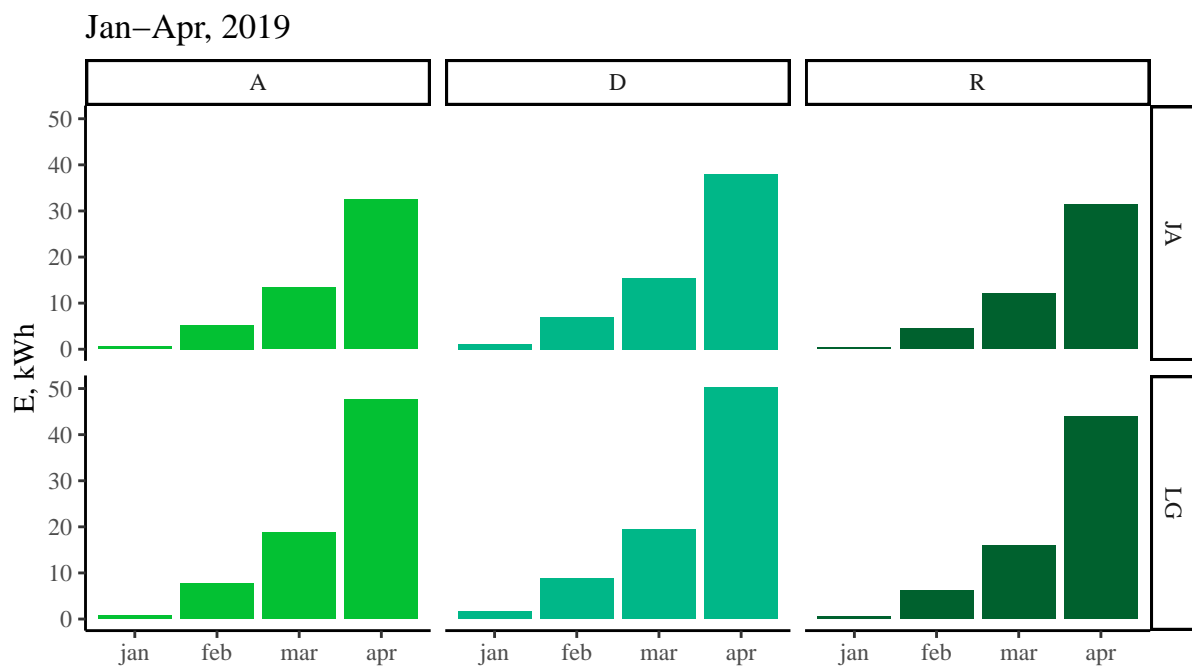
2.5. att. JA



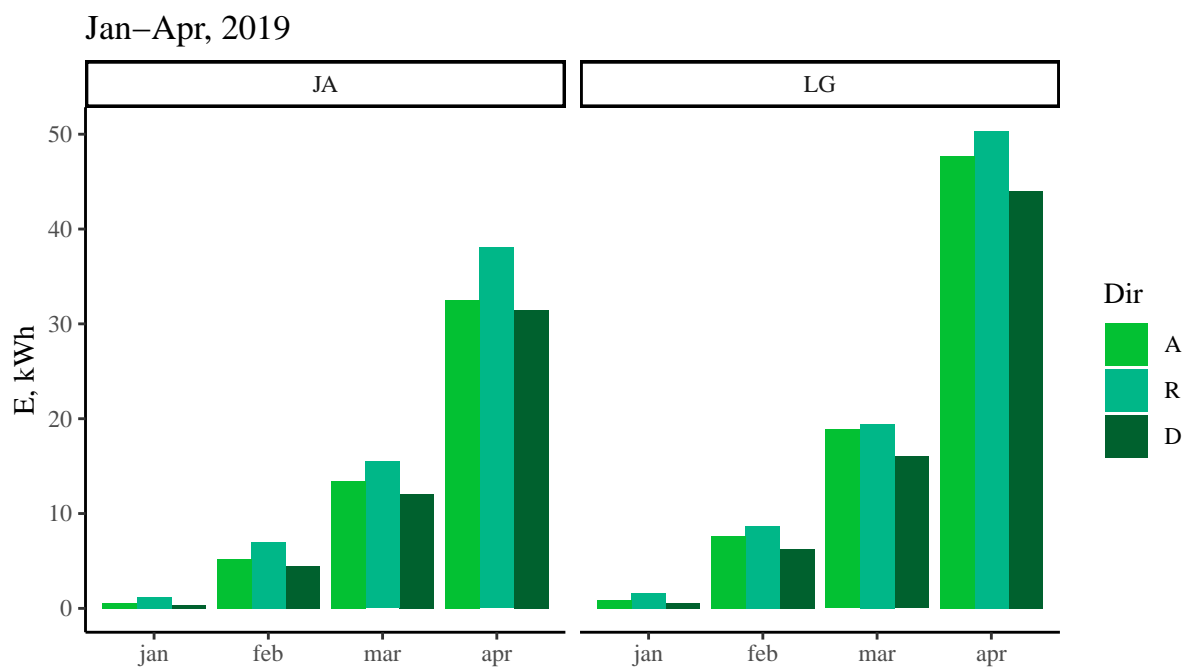
2.6. att. LG



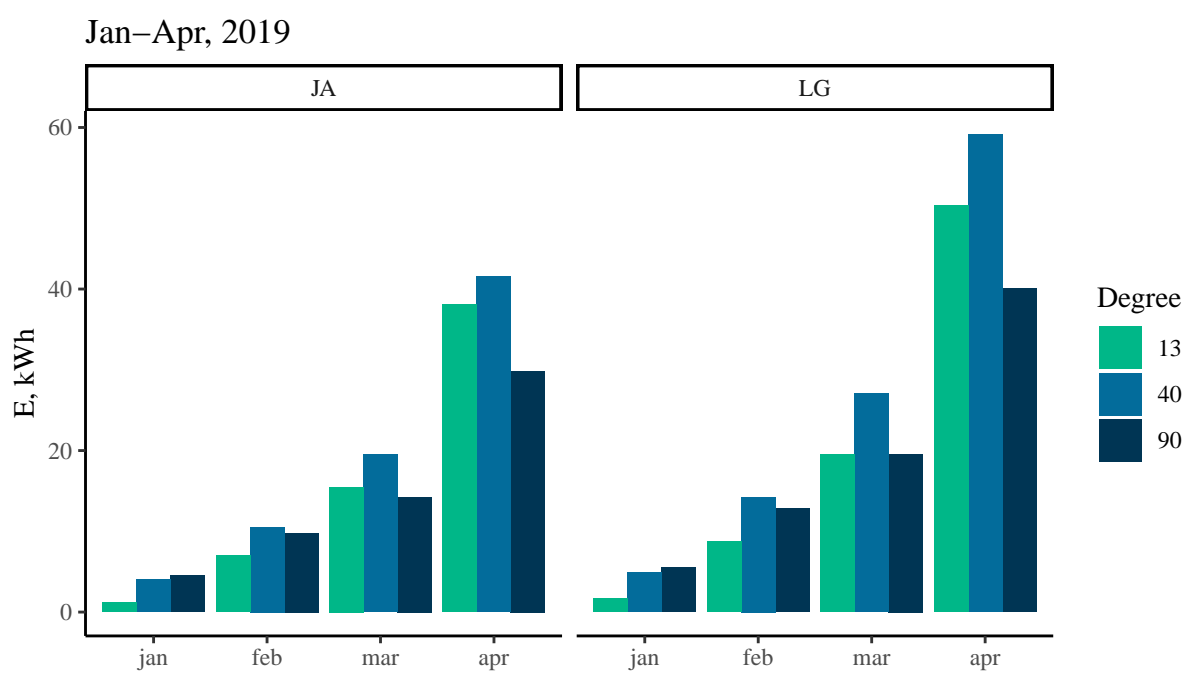
2.7. att. D virziena panelu atkarība no lēnka



2.8. att. Paneļu ražīguma atkarība no virziena



2.9. att. JA un LG atkarība no virziena



2.10. att. JA un LG atkarība no lēnņa



## **SECINĀJUMI**

## **PATEICĪBAS**

Pateicos paroksetīnam, xanax, GNU/Linux, Pētera Draguna dzejas krājumam 'Tumšās stundas', Tarvi Verro for teaching me git, Valtam Krūmiņam un Annai Bulei par emocionālo atbalstu, Paulīnai Lodbrukai un Pēterim Ratniekam par ticību maniem spēkiem, Žeņam par kucēnu video, Solvitai par maģiju un Cilvēkam par pacietību. Paldies Aleksandrai Elbakjanai par sci-hub. Paldies "Puratos Latvia" un Asjas un Berndta Everts piemiņas fondam par stipendiju studiju laikā.

Darbs veikts ar Eiropas Reģionālās attīstības fonda projekta "Viedo risinājumu gandrīz nulles enerģijas ēkām izstrāde, optimizācija un ilgtspējas izpēte reāla klimata apstākļos" Nr ESS2017/209 1.1.1.1/16/A/192 finansiālo atbalstu.

## IZMANTOTĀ DARBA LITERATŪRA UN AVOTI

- [1] John A. Duffie; William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4. izdev. Wiley, 2013. ISBN: 9780470873663. URL: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=84481e599cbcd1e3c70f82b3c1379d1c>.
- [2] *Direktīva (ES) 2018/2001 par no atjaunojamajiem energoresursiem iegūtās enerģijas izmantošanas veicināšanu*. Tehn. ziņ. Skatīts: 2019-05-26. Eiropas Parlaments un Eiropas Savienības Padome (ES), 2018/2001. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>.
- [3] Claus Fröhlich. „Total Solar Irradiance Observations”. *Surveys in Geophysics* 33.3 (2012), lpp. 453—473. ISSN: 1573-0956. DOI: 10.1007/s10712-011-9168-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9168-5>.
- [4] Greg Kopp. *SORCE Level 3 Total Solar Irradiance Daily Means, version 018*. Tehn. ziņ. Skatīts: 2019-05-22. Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Earth Science Data un Information Services Center (GES DISC), 2019. DOI: doi: 10.5067/D959YZ53XQ4C. URL: [http://lasp.colorado.edu/data/sorce/tsi\\_data/daily/sorce\\_tsi\\_L3\\_c24h\\_latest.txt](http://lasp.colorado.edu/data/sorce/tsi_data/daily/sorce_tsi_L3_c24h_latest.txt).
- [5] Nathan S. Lewis. „Research opportunities to advance solar energy utilization”. *Science* 351.6271 (2016). ISSN: 0036-8075. DOI: 10.1126/science.aad1920. eprint: <https://science.sciencemag.org/content/351/6271/aad1920.full.pdf>. URL: <https://science.sciencemag.org/content/351/6271/aad1920>.
- [6] Erik Richard. *SORCE Level 3 Solar Spectral Irradiance Daily Means V001*. Tehn. ziņ. Skatīts: 2019-05-23. Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Earth Science Data un Information Services Center (GES DISC), 2018. DOI: doi: 10.5067/TSIS/SIM/DATA302. URL: [http://lasp.colorado.edu/home/tsis/data/ssi-data/?doing\\_wp\\_cron=1558640803.1350839138031005859375](http://lasp.colorado.edu/home/tsis/data/ssi-data/?doing_wp_cron=1558640803.1350839138031005859375).

Bakalaura darbs „**Saules paneļu efektivitāte Latvijas klimatā**” izstrādāts Latvijas Universitātes **Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē**.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: \_\_\_\_\_ /author/

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr. Phys. Andris Jakovičs \_\_\_\_\_ .

Recenzents: Dr. Phys. Aivars Vembris

Darbs iesniegts Fizikas nodaļā \_\_\_\_\_ .

Dekāna pilnvarotā persona: \_\_\_\_\_

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

\_\_\_\_\_.2019. prot. Nr. \_\_\_\_\_, vērtējums \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_