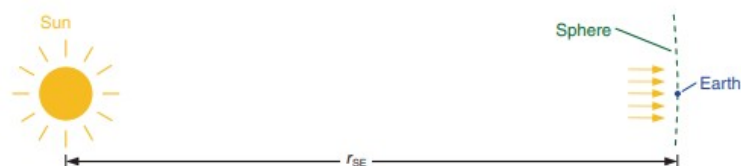


Лекция 2 Күн энергиясы

Күн радиациясының қасиеттері.

Күн константасы. Күн ішінде әрбір төрт сутегі атомы бір гелий атомына балқытылған алып синтез реакторын бейнелейді. Бұл атомдық синтезде шамамен 15 миллион градус Цельсий температура болады. Босаған энергия радиация түрінде ғарышқа таралады.



Сурет 1 - Күн константаларын анықтау

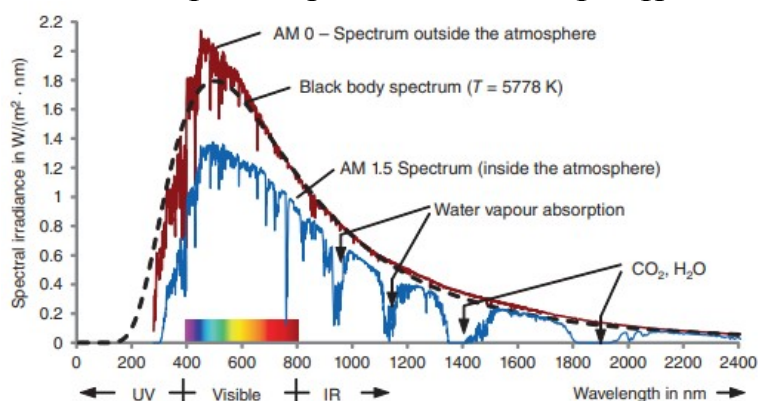
1-суретте Күн-Жер жүйесі азды-көпті масштабта көрсетілген. Екі ғарыштық дененің арасындағы қашықтық шамамен 150 млн км.

Күн үздіксіз $P_{\text{Sun}} = 3,845 \cdot 10^{26}$ Вт мөлшерінде сәуле шығарады, оның барлық бағыттары бойынша Жер аз ғана бөлігін алады. Бұл мәнді есептеу үшін Күннің айналасында $r = r_{\text{SE}}$ радиусы бар шар бар деп есептейміз. Бұл қашықтықта Күннің радиациясының мөлшері сфераның бүкіл аумағына таралып үлгерді. Осылайша, Жердің орнында біз келесі қуат тығыздығын немесе сәулеленуді аламыз.

Күн тұрақтысы 1367 Вт/м^2 . Ол Жер атмосферасынан тыс сәулеленуді білдіреді.

$$E_s = \frac{\text{Radiation power}}{\text{Area of sphere}} = \frac{P_{\text{Sun}}}{4 \cdot \pi \cdot r_{\text{SE}}^2} = \frac{3.845 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot (1.496 \cdot 10^{11} \text{ m})^2} = 1367 \text{ W/m}^2 \quad (2.1)$$

Күн спектрі. Әрбір ыстық дене айналасына сәуле шығарады. Планктың сәулелену заңына сәйкес беттің температурасы сәулелену спектрін анықтайды. Күн жағдайында бетінің температурасы 5778 К құрайды, бұл 2-суретте (үзік сызық) көрсетілген идеалдандырылған Қара дене спектріне әкеледі. Жер атмосферасынан тыс өлшенген нақты спектр (AM 0) шамамен осы идеалдандырылған сызыққа сәйкес келеді. AM 0 термині ауа массасы 0 дегенді білдіреді және бұл жарықтың атмосферадан өтпегенін білдіреді. Егер осы спектрдің жеке шамалары 2-суретте қосылса, нәтиже 1367 Вт/м^2 сәулелену болып табылады, бұл жоғарыда айтылған күн тұрақтысы.

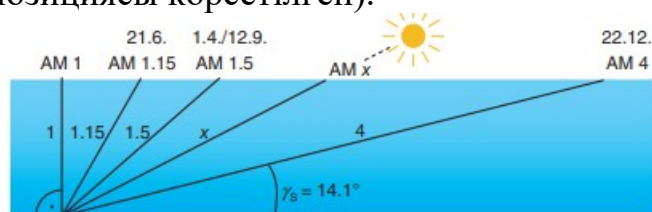


Сурет 2 - Атмосфераның сыртындағы және ішіндегі спектр

Ауа массасы. Көріп отырғанымыздай, атмосферадан өткен кезде спектр өзгереді. Әсер үлкенірек, жарықтың жолы ұзағырақ. Осы себепті сәулелердің атмосфера арқылы өтетін жолына сәйкес әртүрлі спектрлерді белгілейді. 3-суретте принцип көрсетілген: AM 1.5 термині, мысалы, атмосфера арқылы өтетін тік жолмен салыстырғанда жарықтың 1,5 есе қашықтықты жүріп өткенін білдіреді. Күннің белгілі Күн биіктігі бұрышында γ_s , AM мәні x береді:

$$x = \frac{1}{\sin \gamma_s}$$

Күн мен жыл уақытына байланысты күннің биіктігі әртүрлі. 3-сурет Германиядағы Мюнстерде қай күндері тиісті AM мәндеріне жеткенін көрсетеді (түскі күн позициясы көрсетілген).



Сурет – 3 Ауа массасы терминінің түсіндірмесі: x саны атмосфера арқылы өтетін тік қашықтықпен салыстырғанда жолдың ұзаруын білдіреді.

Күн модульдерін өлшеуге арналған стандартты спектр көктемде және күзде келетіндіктен, AM 1,5 спектрінде бекітілді және оны орташа жылдық спектр ретінде қарастыруға болады.

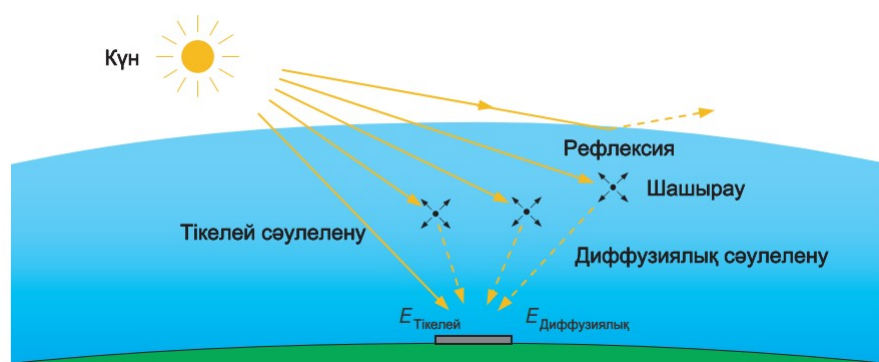
Ғаламдық радиация

Ғаламдық радиацияның пайда болуы. Шашырау және сіңіру сияқты әртүрлі әсерлер ғарыштан AM 0 спектрінің әлсіреуін тудырады. 2-суреттегі AM 1,5 спектрінің қосындысында біз тек 835 Вт/м^2 аламыз.

Осылайша, бастапқыда қол жетімді 1367 Вт/м^2 Жер 61% -ын тікелей радиация деп аталады. Алайда, атмосферада жарықтың шашырауына байланысты тағы бір бөлігі бар: диффузиялық сәулелену (4-суретті қараңыз).

Сәулеленудің әлсіз бөліктері аспанның барлық жағынан келеді және диффузиялық сәулеленуге қосылады. Сәулеленудің екі түрінің қосындысы ғаламдық сәулелену деп аталады.

Жаздың жақсы, мөлдір күнінде $EG = ESTC = 1000 \text{ Вт/м}^2$ жаһандық сәулелену мәнін Күннің радиациясына тік бетінде өлшеуге болады. Күн модульдерінің стандартты сынақ шарттарын анықтауда (1.5 тарауды қараңыз) $1000/835 = 1.198$ коэффициенті бойынша жақсартылған AM 1.5 спектрін пайдаланудың себебі осы. Демек, оның жалпы сәулеленуі дәл $ESTC = 1000 \text{ Вт/м}^2$ және күн модулінің ең жоғары қуатын анықтау үшін қолайлы.



Сурет – 4 Галамдық сәулеленудің пайда болуы: Бұл тікелей және диффузиялық сәулеленудің қосындысы

Диффузды және тікелей сәулеленудің ықпалы

Диффузды сәулеленудің жаһандық радиацияға қосқан үлесі жиі бағаланбайды. Германияда жыл бойына қараған кезде диффузды радиация тікелей сәулеленуге қарағанда үлкен үлес қосады. Бұған дәлел үшін 2 кестені қараңыз. Бұл әртүрлі жерлерде тегіс беттегі орташа айлық H сәулеленуін (сәулеленген энергияны) көрсетеді.

Гамбургте H_{Diffuse} орташа диффузды сәулеленуі $1.52 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$ H_{Direct} қарсы $1,02 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$ құрайды. Осылайша, диффузды радиация жыл сайынғы жаһандық радиацияның 60%-ға жуығын құрайды. Мюнхенде позиция біршама өзгерді. Мұндағы диффузды сәуле 54% ғана үлес қосады.

Қорытынды: Германияның оңтүстігіндегі жерлерде жағдай басқаша: Марсельде және Каирде 65 және 71% тікелей радиация жаһандық радиацияның негізгі бөлігін құрайды.

5-суретте Гамбург және Мюнхен бойынша мәліметтер қайтадан графикалық түрде көрсетілген. Бұдан не алуға болады? Біріншіден, Гамбургтен гөрі Мюнхенде фотоэлектрлік қондырғыны пайдалану тиімдірек екені анық. $H=3,15 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{жыл})$ орташа жаһандық сәулелену жыл бойы (365 күн) жылдық жиынтықты қамтамасыз етеді:

$$H = 3.15 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{д}) \cdot 365 \text{ д}/\text{а} = 1150 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{а}).$$

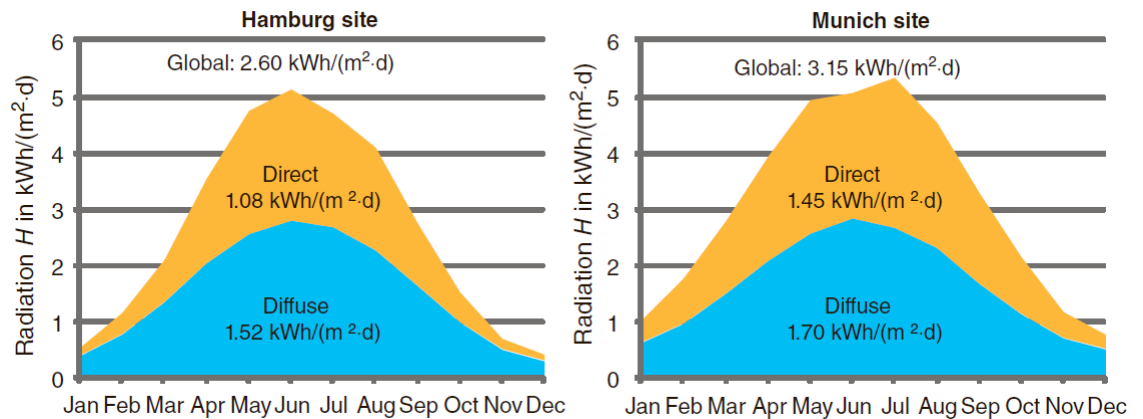
Гамбургтегі сәйкес жылдың жиынтық көрсеткіші жылына тек $949 \text{ кВт}/\text{м}^2$ құрайды.

Сонымен қатар, Мюнхендегі диффузды радиация Гамбургке қарағанда сәл ғана жоғары екенін көруге болады. Мюнхендегі жоғары жаһандық радиация негізінен тікелей радиацияның жоғарылауы есебінен қол жеткізілді. Мұның себебін болжау оңай: Мюнхендегі Күннің жоғары орналасуы. Бірақ Күннің биіктігі диффузиялық радиацияға әсер етпейтіні анық.

Тікелей және шашыраңқы сәулеленудің тәуліктік ағымдары қаншалықты әр түрлі болуы мүмкін екендігі 6-суретте көрсетілген. Мұнда шуақты күн мен жаздың бұлтты күніндегі радиация көрсетілген.

Шуақты күнде тікелей радиация айқын басым болады, ал бұлтты күні ол диффузды радиациямен салыстырғанда іс жүзінде ешқандай рөл атқармайды. Дегенмен $3,7 \text{ кВт}/\text{сағ}/\text{м}^2$ болатын бұлтпен жабылған күн әлі

күнге дейін шуақты күннің радиациясының жартысынан көбін әкеледі. Бұл фотоэлектрлік пайдалану үшін бұлтты күндердің қаншалықты тиімді болатынын көрсетеді.



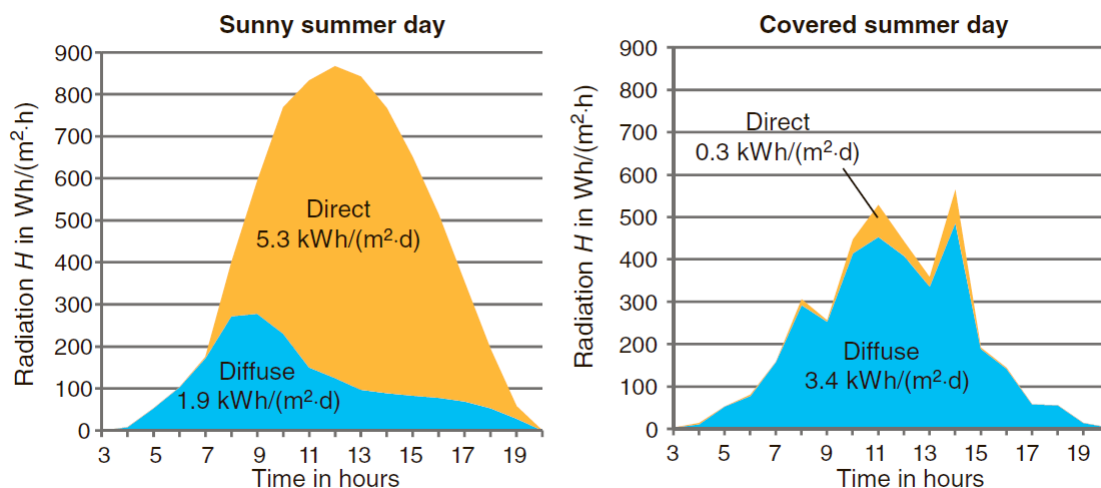
Сурет 5 – Гамбург және Мюнхен учаскелері үшін көлденең деңгейде бір жыл бойы радиация

Кесте 1 – Әр түрлі жерлер үшін көлденең деңгейде жыл бойына жалпы радиация кВт/(м²жыл)

Place		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Σ
Glasgow	H_{Direct}	0.06	0.23	0.49	1.18	1.66	1.60	1.38	1.03	0.60	0.25	0.10	0.03	0.71
55.7°N	$H_{Diffuse}$	0.39	0.81	1.45	2.23	2.83	3.11	2.97	2.46	1.73	1.00	0.51	0.29	1.65
4.5°W	H	0.45	1.04	1.94	3.41	4.49	4.71	4.35	3.49	2.33	1.25	0.61	0.32	2.36
Hamburg	H_{Direct}	0.13	0.37	0.74	1.49	2.18	2.32	2.01	1.82	1.10	0.52	0.18	0.10	1.08
53.6°N	$H_{Diffuse}$	0.40	0.78	1.35	2.04	2.55	2.79	2.67	2.26	1.63	0.99	0.51	0.31	1.52
10.0°E	H	0.53	1.15	2.09	3.53	4.73	5.11	4.68	4.08	2.73	1.51	0.69	0.41	2.60
London	H_{Direct}	0.17	0.36	0.82	1.36	1.88	2.08	1.91	1.72	1.24	0.61	0.26	0.12	1.04
51.6°N	$H_{Diffuse}$	0.48	0.84	1.43	2.06	2.56	2.79	2.68	2.28	1.70	1.08	0.61	0.38	1.57
0.0°W	H	0.65	1.20	2.25	3.42	4.44	4.87	4.59	4.00	2.94	1.69	0.87	0.50	2.61
Munich	H_{Direct}	0.36	0.75	1.28	1.83	2.43	2.62	2.69	2.26	1.71	0.89	0.38	0.24	1.45
48.4°N	$H_{Diffuse}$	0.67	1.05	1.60	2.18	2.61	2.81	2.71	2.35	1.82	1.24	0.75	0.55	1.70
11.7°E	H	1.03	1.80	2.88	4.01	5.04	5.43	5.40	4.61	3.53	2.13	1.13	0.79	3.15
Marseille	H_{Direct}	1.01	1.34	2.40	3.24	4.03	4.78	5.03	4.24	3.05	1.76	1.05	0.79	2.72
43.3°N	$H_{Diffuse}$	0.79	1.11	1.49	1.90	2.16	2.18	2.02	1.85	1.58	1.24	0.87	0.70	1.49
5.4°E	H	1.80	2.45	3.89	5.14	6.19	6.96	7.05	6.09	4.63	3.00	1.92	1.49	4.21
New York	H_{Direct}	0.84	1.35	1.88	2.43	3.04	3.25	3.17	3.03	2.34	1.68	0.74	0.57	2.03
40.8°N	$H_{Diffuse}$	1.03	1.37	1.85	2.31	2.62	2.74	2.68	2.37	1.98	1.51	1.12	0.91	1.87
74.0°W	H	1.87	2.72	3.73	4.74	5.66	5.99	5.85	5.40	4.32	3.19	1.86	1.48	3.90
Cairo	H_{Direct}	2.16	2.94	3.80	4.60	5.41	5.95	5.82	5.34	4.50	3.56	2.48	1.92	4.04
30.1°N	$H_{Diffuse}$	1.26	1.47	1.76	1.99	2.05	2.01	1.99	1.89	1.73	1.50	1.30	1.18	1.68
31.2°E	H	3.42	4.41	5.56	6.59	7.46	7.96	7.81	7.23	6.23	5.06	3.78	3.10	5.72
Miami	H_{Direct}	2.03	2.50	3.16	3.82	3.54	3.07	3.36	3.23	2.72	2.50	2.10	1.90	2.82
25.9°N	$H_{Diffuse}$	1.46	1.71	1.96	2.17	2.42	2.54	2.47	2.36	2.17	1.83	1.53	1.37	2.00
80.1°W	H	3.49	4.21	5.12	5.99	5.96	5.61	5.83	5.59	4.89	4.33	3.63	3.27	4.82
Quito	H_{Direct}	1.97	2.07	2.20	2.10	2.06	2.05	2.27	2.33	1.98	1.96	2.12	1.87	2.08
0.2°S	$H_{Diffuse}$	2.16	2.27	2.35	2.23	2.06	1.96	1.99	2.13	2.28	2.28	2.18	2.11	2.17
78.5°W	H	4.13	4.34	4.55	4.33	4.12	4.01	4.26	4.46	4.26	4.24	4.30	3.98	4.25
Sidney	H_{Direct}	3.38	3.01	2.74	2.25	1.81	1.72	1.86	2.54	3.17	3.57	3.48	3.67	2.76
33.9°S	$H_{Diffuse}$	2.56	2.27	1.81	1.34	0.98	0.80	0.86	1.07	1.48	1.97	2.43	2.61	1.68
151.2°E	H	5.94	5.28	4.55	3.59	2.79	2.52	2.72	3.61	4.65	5.54	5.91	6.28	4.44
Buenos Aires	H_{Direct}	4.38	3.57	2.99	2.20	1.68	1.26	1.41	1.88	2.62	3.11	3.93	4.32	2.77
34.6°S	$H_{Diffuse}$	2.39	2.17	1.74	1.31	0.97	0.84	0.90	1.17	1.56	2.03	2.35	2.50	1.66
53.4°W	H	6.77	5.74	4.73	3.51	2.65	2.10	2.31	3.05	4.18	5.14	6.28	6.82	4.43

Ғаламдық радиация картасы

Жоспарлау сатысында тұрған фотоэлектрлік қондырғының өнімділігін бағалай алу үшін жоспарланған учаскедегі ғаламдық радиацияның деректерін алу қажет. Бұл үшін ең маңызды сипаттама - бұл көлденең деңгейдегі жаһандық радиацияның жылдық жалпы H . Қазіргі уақытта бұл сипаттаманы жоғары ажыратымдылықта көрсететін ғаламдық радиациялық карталар бар. Бұлардың негізі – өлшеу станцияларының, спутниктік суреттердің және имитациялық құралдардың тығыз желісі арқылы көп жылдық өлшеулер.



Сурет 6 – Брауншвейгтегі екі жаз күніндегі радиация: бұлтты күн шуақты күннің радиациялық энергиясының жақсы жартысын қамтамасыз етеді

Жылдың радиациялық энергиясы солтүстіктен оңтүстікке қарай арта түсетіні анық байқалады. Мәндер 900-ден 1150 кВт/(м²сағ) аралығында ауытқиды. Орташа алғанда Германия үшін 1000 кВт/(м²сағ) есептеуге болады. Бұл әдеттен тыс құрылғыны өте айқын үлгінің көмегімен айналып өтуге болады, яғни Sunfull жүктеме сағатының моделі:

Күннің тек екі шарты болуы мүмкін деп есептейміз:

1. Ол жарқырайды «Толық жүктеме»: $E=ESTC=1000 \text{ Вт/м}^2$.
2. Ол толық «Өшірулі»: $E=0$.

Мысалы, Жер бетінде $H=1000 \text{ кВт/(м}^2\text{сағ)}$ сәулеленуді қамтамасыз ету үшін Күн қанша уақыт бойы толық жүктемемен жарқырап тұруы керек?

$$\frac{H}{E_{STC}} = \frac{1000 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 1000 \frac{\text{h}}{\text{a}}$$

Күнге бір жылда (8760 сағ) беретіндей оптикалық энергияны қамтамасыз ету үшін 1000 толық жүктеме сағаты қажет болады.

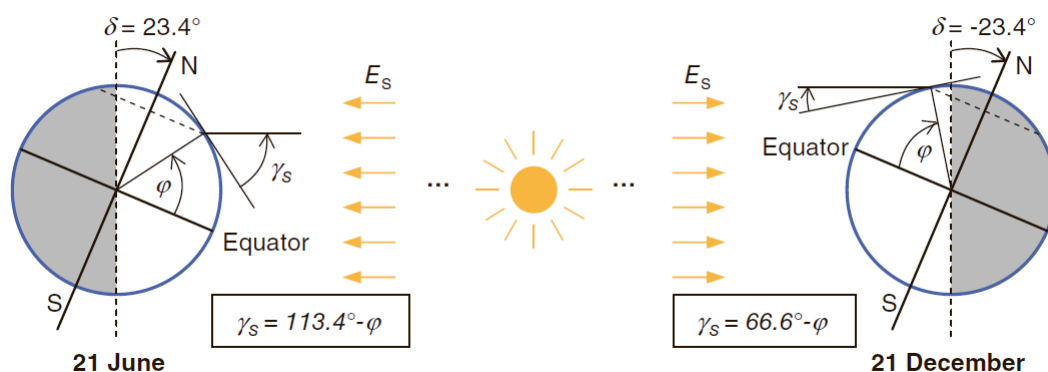
Басқа елдерде жағдай ішінара әлдеқайда жақсы. 2.8-суретте Еуропадағы радиациялық жағдай көрсетілген. Радиация көбінесе 1000–1500 кВт/(м²сағ) аймағында болады. Төтенше мәндер Шотландияда бар-жоғы 700 және Оңтүстік Испанияда 1800 кВт/(м² сағ) бар.

Жалпы сурет радиацияның әлемдік картасында 2.9-суретте берілген. Ең жоғары радиация табиғи түрде экватор аймағында 2500 толық жүктеме сағатына дейінгі мәндермен кездеседі.

Күннің орнын есептеу

Күннің еңкеюі

Бір жыл ішінде Жер Күнді мінсіз шеңбер бойымен айналады. Жердің осі қисайғандықтан, Күннің биіктігі бір жыл ішінде өзгереді. Бұл байланыс 7-суретте жазғы және қысқы өзгерістер үшін көрсетілген.



Сурет – 10 Жазғы және қысқы күн тоқырауы үшін жер осінің қисаюының күндізгі күн биіктігіне әсері $\sqrt{S_{Max}}$. Ендікке байланысты басқа мән бар φ

Жазда Солтүстік полюс Күнге қарай қисайған, сондықтан күннің үлкен бұрыштары (көбінесе күн биіктігі деп те аталады) бар. Күннің максималды биіктігі $\sqrt{S_{Max}}$ (түс) ионды ескере отырып, қарапайым бұрышпен анықталуы мүмкін:

$$\gamma_{S_Max} = 113.4^\circ - \varphi.$$

φ бұрышы – қарастырылатын тораптың географиялық ені (ендігі). Бұл қысқы күндерге қарама-қарсы, Жердің осі күннен алшақ орналасқан, сондықтан тек түскі күн биіктігі бар:

$$\gamma_{S_Min} = 66.6^\circ - \varphi.$$

Күннің жолын есептеу

Ықтимал көлеңкелер жағдайында белгілі бір күндерде Күннің жолын білу зауытты егжей-тегжейлі жоспарлауға көмектеседі. Есептеуді қарапайым ету үшін жергілікті күн уақыты (LST) немесе күн уақыты деп аталады. Бұл түсте Күн дәл оңтүстікте болатын және осылайша күннің ең жоғары нүктесіне жеткен уақыт. Негізінде, бұл сайтта күн тізбегі көрсететін уақыт.

Дегенмен, үйлестірілген әмбебап уақыт (UTC) Гринвичтегі нөлдік меридианға сілтеме жасалатын болады. Осылайша, бұл 0° ендікте орналасқан жерлерде жергілікті күн уақытымен ғана дұрыс болады.

Екі уақыт арасындағы айырмашылықты L сәйкес географиялық орнынан шамамен анықтауға болады, өйткені Жер 24 сағатта (360°) бір рет айналады және осылайша 1 сағ небәрі 15° -қа сәйкес келеді.

$$LST = UTC + 1h \cdot \frac{\Lambda}{15^\circ}$$

Мұнда ескерілмейтін нәрсе, жергілікті күн уақыты тек Жердің айналуына ғана емес, сонымен қатар Күннің еңісіне және Жердің Күнді айналасындағы эллиптикалық жолына да байланысты.

Ескертпелер: Күннің азимутының бұл анықтамасы фотоэлектр саласындағы ең кең таралған. Дегенмен, кейбір симуляциялар DIN сәйкес анықтаманы пайдаланады. Мұнда солтүстік 0° арқылы анықталады, содан

кейін сағат тілі бағытымен қосылады (шығыс; 90°, оңтүстік; 180°, т.б.). Сондай-ақ қысқарту ретінде ω сағат бұрышын енгіземіз: Бұл жергілікті күн уақытын есептейді. Жердің сәйкес айналу орны:

$$\omega = (LST - 12) \cdot 15^\circ$$

Енді Күннің орнын φ ендігі мен Күннің еңісі δ бойынша анықтауға болады:

$$\sin \gamma_S = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

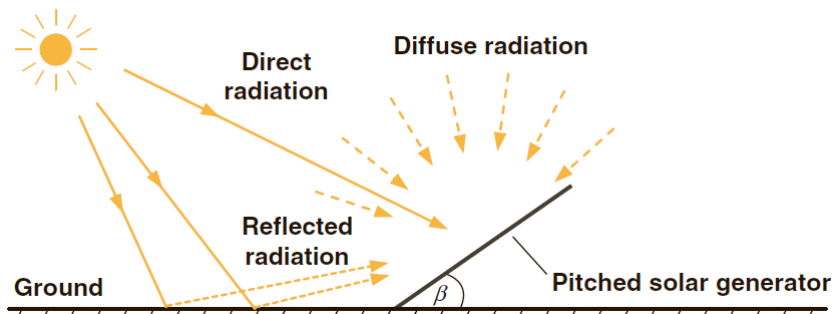
$$\sin \alpha_S = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \gamma_S}$$

Тікелей сәулелену

Фотоэлектрлік қондырғылар көбінесе төбе төбелеріне орнатылады, осылайша модуль көлденеңінен β шабуыл бұрышында болады. Сондай-ақ, жалпақ шатырлар немесе ашық аспан астындағы зауыттар жағдайында жоғары жылдық өнімділікке қол жеткізу үшін модульдерді еңкейту әдеттегідей.

11-суретте қолайлы күн модулінің беті (немесе жалпы алғанда күн генераторы) жағдайында радиациялық байланыстар көрсетілген. Тікелей және диффузиялық радиациядан басқа тағы бір радиациялық компонент бар: жерден шағылысқан сәуле. Олар еңкейтілген генератордағы жалпы E_{Gen} сәулеленуіне қосылады.

$$E_{Gen} = E_{Direct_Gen} + E_{Diffuse_Gen} + E_{Refl_Gen}$$



Сурет – 11 Көлбеу беттердегі радиациялық жағдай: Радиация тікелей, диффузиялық және шағылысқан сәулелерден тұрады.

Тікелей сәулелену

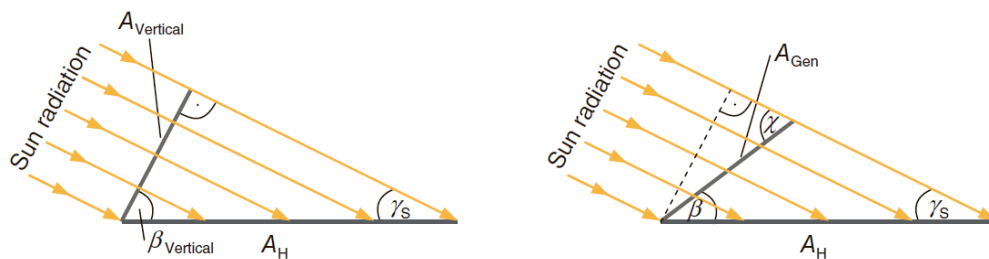
Енді жеке құрамдас бөліктерді есептеуді толығырақ қарастырамыз. Тікелей күн сәулесі қисайған күн модуліне түсетін жағдайды қарастырайық. Бұл жағдайда 12-суреттің сол жақ нобайы күн радиациясының A_H көлденең бетіне қалай әсер ететінін көрсетеді. Сәулеленудің оптикалық қуаты P_{Opt} :

$$P_{Opt} = E_{Direct_H} \cdot A_H$$

Егер күн генераторы күн радиациясына дәл тігінен орналасса, $A_{Vertical}$ азырақ бетінде бірдей қуатты алуға болады:

$$P_{Opt} = E_{Direct_H} \cdot A_H = E_{Direct_Vertical} \cdot A_{Vertical}$$

Сондықтан $E_{\text{Direct_Vertical}}$ сәулеленуінің күші сәулеленудің көлденең күшімен салыстырғанда A_H/A_{Vertical} факторына артады. Бұл өсуді 12-суреттен көруге болады, өйткені жарық сәулелері көлденең бетке қарағанда тік бетінде бір-біріне жақынырақ болады.



A_H : Көлденең бет

A_{Vert} : Беткейлік бағытқа тік

A_{Gen} : Генератор деңгейіндегі бет

A_H : Н Көлденең бет

A_{Vert} : Тік бет кездейсоқ бағытқа тік

A_{Gen} : Генератор деңгейіндегі Gen беті

Сурет 12 – Күн генераторының қисаюының тікелей радиацияға әсері
12-суреттегі оң жақтағы эскиз жалпы жағдайды көрсетеді: β бұрышымен қисайтылған күн генераторы. Генератор деңгейінде сәулеленудің күшін анықтау үшін тригонометриялық теңдеулер жұбы қолданылады:

$$A_{\text{Vertical}} = A_H \cdot \sin \gamma_s$$

$$A_{\text{Vertical}} = A_{\text{Gen}} \cdot \sin \chi$$

Қосымша χ бұрышын үшбұрыштағы бұрыштардың қосындысы арқылы және қосалқы бұрыш ретінде есептеуге болады:

$$\chi = \gamma_s + \beta$$

Жоғарғы теңдеулерді пайдаланып, біз мынаны аламыз:

$$E_{\text{Direct_Gen}} = E_{\text{Direct_H}} \cdot \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin \gamma_s}$$

Айта кету керек, бұл теңдеу тек тікелей сәулеленуге қатысты.

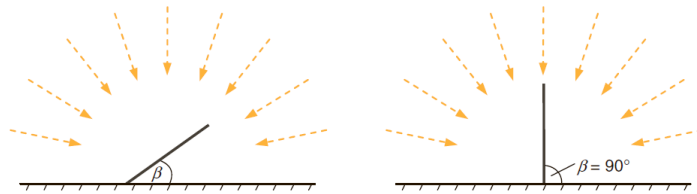
Диффузды сәулелену

Көлбеу беттің диффузиялық сәулеленуін есептеуді айтарлықтай жеңілдетуге болады. Осы мақсатта біз бүкіл аспаннан таралатын сәулелену шамамен бірдей күшке ие деген қарапайым болжам жасаймыз (изотропты болжам: 13-сурет, сол жақта). Осылайша β бұрышындағы күн генераторының сәулелену күші келесі түрде есептеледі:

$$E_{\text{Diffus_Gen}} = E_{\text{Diffus_H}} \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \beta)$$

Көлденең генератордан ($\beta = 0^\circ$) бастап сәулелену ($\beta = 90^\circ$) болғанша төмендейді:

$$E_{\text{Diffus_Gen}} = \frac{E_{\text{Diffus_H}}}{2}$$



Сурет 13 – Көлбеу беттегі диффузды сәулелену үшін изотропты болжам. Тігінен тұрған күн генераторы жағдайында радиацияның тек жартысын ғана пайдалануға болады

Бұл жағдайда күн генераторы аспанның сол жағын ғана пайдалануға болатындай тік (13-сурет, оң жақта).

Изотропты болжамды тек дәрекі жуықтау ретінде түсіну керек. Осылайша, Күннің айналасындағы аспан көкжиек аймағына қарағанда көбірек жарық. Дәлдіктің жоғары деңгейіне жету үшін заманауи модельдеу бағдарламаларында неғұрлым нақтыланған модельдер қолданылады.

Шағылысқан радиация

11-суретте көрсетілгендей жаһандық радиацияның бір бөлігі жерден шағылысады және күн генераторына қосымша радиациялық үлес ретінде әрекет ете алады.

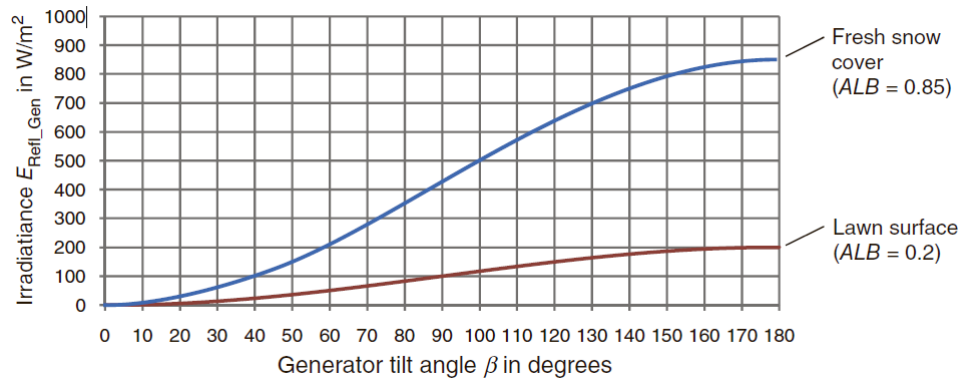
Бұл бөлікті есептеудегі басты мәселе әрбір жердегі материалдың әр түрлі шағылыстыратындығы (дәлірек айтқанда: шашырауы). Альбе́до мәні (ALB) деп аталатын мән алынған шағылыстыру коэффициентін сипаттайды.

Берілген мәндердің үлкен диапазоны шағылысқан сәулеленуді модельдеу үлкен белгісіздіктермен бірге жүретінін көрсетеді. Егер топырақ белгісіз болса, онда симуляциялық бағдарламаға $ALB=0,20$ стандартты мәні жиі енгізіледі.

Көлбеу генераторда шағылған сәулеленуді есептеу үшін тағы да изотропты болжам жасалады.

$$E_{\text{Refl_Gen}} = E_G \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \beta) \cdot ALB$$

14-суретте көгалдармен және жаңа қармен жабылған жер жағдайының нәтижелері көрсетілген. Жазық күн модульдері жағдайында ($\beta=0$) жермен шағылысқан радиацияның бөлігі нөлге тең, содан кейін үздіксіз көтеріледі. $\beta=90^\circ$ кезінде қол жетімді шағылыстыратын сәуленің жартысы күн генераторына жетеді. Бұл күн модульдері үйдің тік қабырғаларына бекітілген қасбеттік зауыттардың жағдайы. Егер 90° -тан асып кетсе, шағылысу радиациясының бөлігі көтеріле береді, бірақ күн модулінің үстіңгі беті енді төмен қараған, бұл жалпы радиация үшін оңтайлы емес екені анық.



Сурет 14 – Шағылысқан радиация күн модулінің қисаюының әртүрлі дәрежелері үшін көгалдар мен жаңа қардың мысалы ретінде ($E_G=1000$ Вт/м²)

Радиацияның болуы және әлемдік энергия тұтынуы

Күн радиациясының энергиясы текшесі

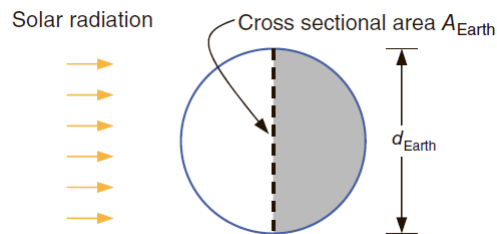
Күн 1367 Вт/м² қуат тығыздығымен жер бетінде үздіксіз жарқырайды. Оның шамамен 1000 Вт/м² атмосфераға түседі. Біз Жерге келетін энергияны шамамен есептей аламыз. Ол үшін 15-суретте көрсетілгендей Жер шарының A_{Earth} көлденең қимасының ауданын есептейміз.

Күннің Жердегі сәулеленуінің жалпы оптикалық қуаты P_{Earth} :

$$P_{Earth} = E_{STC} \cdot A_{Earth} = E_{STC} \cdot \frac{\pi \cdot d_{Earth}^2}{4} = 1.278 \cdot 10^{17} \text{ W}$$

Жыл бойы Жер радиациялық энергияны алады:

$$W_{Earth} = P_{Earth} \cdot t = 1.278 \cdot 10^{17} \text{ W} \cdot 8760 \text{ h} = 1.119 \cdot 10^{18} \text{ kWh}$$



Сурет 15 – Сәулеленудің жалпы энергиясын анықтауға арналған Жердің көлденең қимасының ауданы

Әдебиет тізімі:

1. Mertens, K. (2018). *Photovoltaics: fundamentals, technology, and practice*. John Wiley & Sons.

