

HELLINGSHOEK · RICHTING · ZONINSTRALING

Richt de panelen op **het ware zuiden, onder ongeveer 20°**. Alles tussen 15° en 25° zit binnen een half procent van het optimum.

Dit rapport laat zien hoeveel zonlicht deze locatie ontvangt en welke hellingshoek en richting over een heel jaar het meeste opvangen. Daarna passen we de resultaten toe op de drie constructies uit het huidige ontwerp: het carportdak, de A-vormige grondopstelling en de wig van 64 × 67 cm.

ZONLICHT OP VLAKKE GROND	BESTE VASTE HELLINGSHOEK	BESTE RICHTING (AZIMUT)	VERWACHTE OPBRENGST
≈ 1.795 kWh/m²·jr Gemiddeld ≈ 4,9 kWh/m² per dag (instraling)	≈ 20° 15–25° zit allemaal binnen 0,5% van het beste	180° Z Het ware zuiden. Tot ±20° afwijking kost minder dan 1%	≈ 1.500 kWh/kWp·jr Dicht bij de beste hoek, bij een performance ratio van 0,80

1 · Hoeveel zon deze locatie krijgt

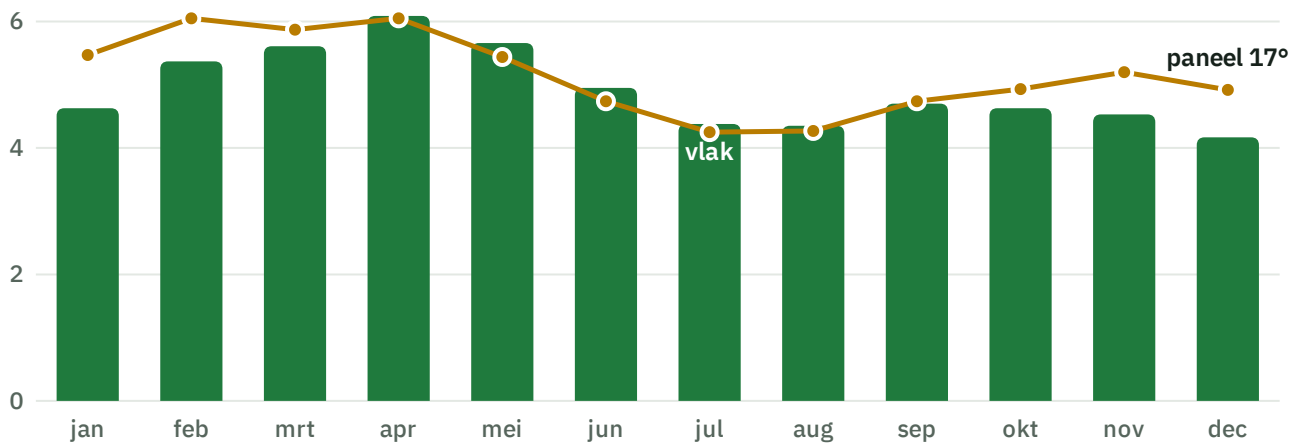
Thailand ontvangt op vlakke grond ongeveer 18–20 MJ/m² zonne-energie per dag, oftewel 5,0–5,6 kWh/m². Ongeveer de helft van het land krijgt 18–19 MJ/m² per dag.⁶⁷ Voor het noorden noemen Thaise installateurs 1.680–1.780 kWh/m² per jaar, en specifieke opbrengsten van 1.350–1.450 kWh/kWp voor Chiang Mai en Lamphun.⁴ Een grondcentrale van 9,5 MW in Mae Chan (Chiang Rai) is ontworpen voor ongeveer 15.000 MWh per jaar, zo'n 1.580 kWh/kWp.⁸

Voor een maandprofiel van precies dit punt gebruikten we de langjarige zonuren van Chiang Rai (1981–2010)² met de Ångström–Prescott-methode uit FAO-56.³ Dat geeft ongeveer **1.795 kWh/m² per jaar** op vlakke grond, iets boven de regionale waarden hierboven, dus beschouw het als de bovenkant. Het jaar kent drie duidelijke delen:

- **Heet droog seizoen, feb–mei:** de zonnigste maanden, met een piek van ongeveer 6,1 kWh/m²/dag in april. Rook van seizoensgebonden verbranding kan deze maanden in sommige jaren dimmen.¹⁰
- **Moesson, jun–sep:** ongeveer 4 zonuren per dag en 300–370 mm regen per maand in juli en augustus. Het meeste licht is diffuus (verstrooid door wolken), dus de hellingshoek maakt in deze maanden minder uit.
- **Koel droog seizoen, nov–jan:** heldere luchten maar een lage zon, 46,7° boven de zuidelijke horizon om 12 uur op 21 december. Dan helpt het kantelen van de panelen naar het zuiden het meest.

GEMIDDELD ZONLICHT PER DAG, PER MAAND · KWH/M² PER DAG

■ Vlakke grond (horizontaal) — Paneel 17° gekanteld, naar het zuiden



Van november tot februari vangt het paneel onder 17° 13–18% meer dan vlakke grond. Van mei tot augustus vangt het 2–4% minder, omdat de zon dan bijna recht boven staat. Over het hele jaar komt het gekantelde paneel ongeveer 5% hoger uit.

2 · Waar de zon staat op 19,85° N

Deze locatie ligt in de tropen (onder 23,44° breedte), dus de zon staat twee keer per jaar recht boven. Ongeveer twee maanden midden in het jaar staat de middagzon iets naar het **noorden**. De rest van het jaar, en vooral in de heldere koele droge maanden, staat hij in het zuiden. Een vast paneel moet dus naar het zuiden wijzen, maar met een gematigde hellingshoek.

19 mei · 24 jul

Zon recht boven op het zonnemiddaguur (ongeveer 12:17 en 12:27 lokale tijd)

46,7° hoog, zuid

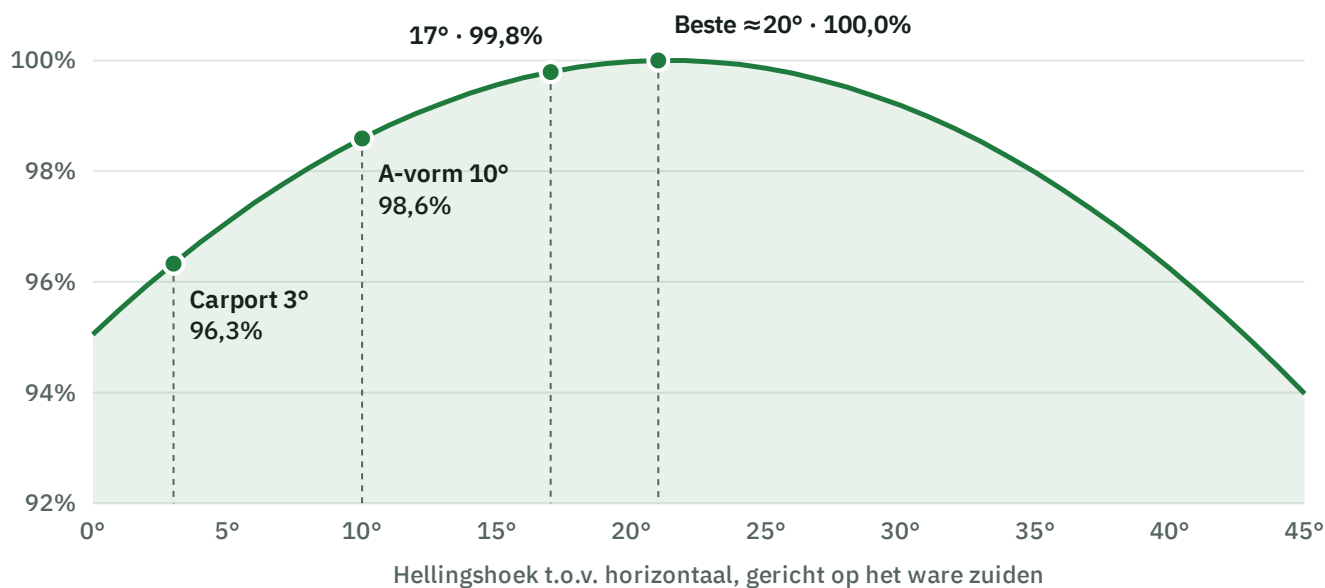
Middagzon op 21 december; de dag duurt 10 u 56 min

86,4° hoog, noord

Middagzon op 21 juni; de dag duurt 13 u 20 min

3 · Beste hellingshoek

Een wereldwijde studie naar de optimale hellingshoek (Jacobson & Jadhav, *Solar Energy*, 2018) leidde een formule af van breedtegraad naar beste hoek. Op 19,85° N geeft die $\approx 20,2^\circ$.¹ Een Thaise regionale gids adviseert **19° voor Chiang Rai** en 18° voor Chiang Mai.⁵ Ons locatiemodel komt overeen: het optimum ligt bij 20–22° en de curve is rond de top erg vlak.



Vlakke panelen vangen 95% van het beste. Elke graad extra tussen 0° en 10° levert ongeveer 0,35% op, en boven 15° is de curve bijna vlak. Hoeken steiler dan 30° verliezen weer: 40° vangt 96%, en de driehoek van 51° die we eerder bespraken zou ongeveer 91% halen.

Minimaal 10° voor zelfreiniging. Onder ongeveer 10° loopt regen niet snel genoeg af om stof en stuifmeel weg te spoelen. Thaise installateurs melden 5–10% minder opbrengst in de droge maanden bij bijna vlakke panelen.⁵ Wereldwijd onderzoek laat ook zien dat vervuilingsverliezen afnemen naarmate de hellingshoek groter wordt.¹² Jacobson & Jadhav adviseren om dezelfde reden minimaal $\pm 10^\circ$ in de tropen.¹ Het droge seizoen, met landbouwstof en rook, maakt dit in Noord-Thailand extra belangrijk.

4 · Beste richting (azimut)

Richt de panelen op **het ware zuiden (azimut 180°)**. De tabel laat zien hoe vergevingsgezind dit is. Bij een kleine hellingshoek maakt de richting nauwelijks uit, omdat het paneel bijna vlak ligt. Hoe steiler het paneel, hoe meer een afwijking van het zuiden kost. Panelen op het noorden verliezen het meest; daarom houden we de noordkant van een A-vorm laag.

JAARLIJKS ZONLICHT OP HET PANEEL · % VAN HET BESTE (20–21°, WAAR ZUIDEN)

Richting ↓ / helling →	0°	3°	5°	10°	15°	17°	20°	25°	30°	40°
Zuid 180°	95,1	96,3	97,1	98,6	99,6	99,8	100,0	99,9	99,2	96,2
ZZO / ZZW ±22°	95,1	96,2	96,9	98,2	99,0	99,2	99,3	99,0	98,2	95,0
ZO / ZW ±45°	95,1	95,9	96,4	97,3	97,6	97,6	97,4	96,7	95,5	91,7
Oost / West 90°	95,1	95,0	94,8	94,0	92,8	92,2	91,1	89,1	86,8	81,3
Noord 0°	95,1	93,6	92,5	89,5	86,0	84,5	82,0	77,7	73,0	63,0

Donkerder groen betekent meer zonlicht. Voorbeelden: zuid onder 10° geeft 98,6%, zuidoost onder 10° 97,3%, oost of west onder 10° 94,0% en noord onder 10° 89,5%. Gebruik het ware noorden, niet het kompas. Het magnetische noorden wijkt in Noord-Thailand minder dan ongeveer 1° af van het ware noorden, dus een telefoonkompas ingesteld op "waar noorden" is nauwkeurig genoeg.

5 · Toegepast op deze installatie

Carportdak, 28 panelen

Huidig ontwerp: ≈3° helling (kolommen 2,30 m voor, 2,50 m achter), 96,3% van het beste

Advies: verhoog naar 10°, op het zuiden. +2,3% zonlicht, ongeveer +580 kWh per jaar, en de panelen worden door de regen schoongespoeld.

Voor 10° over de balkoverspanning van 3,78 m gaat de achterkolom van 2,50 m naar ongeveer 2,97 m. Voor- en achterkolom samen zijn dan 5,27 m, wat nog steeds uit één buis van 6 m per spant past, dus de staalkosten veranderen nauwelijks. Het hogere dak vangt meer wind, dus de constructeur moet het spant en de fundering opnieuw controleren.

A-vorm, 7 zuid + 7 noord

Huidig ontwerp: 10° aan beide kanten. Zuidkant 98,6%, noordkant 89,5%, gemiddeld 94,0%

Houd 10° aan als kosten en een kleine footprint voorop staan. De noordhelling steiler maken kost meer: bij 15° zakt die naar 86%.

Wilt u juist de meeste energie, plaats dan alle 14 panelen op het zuiden onder 17–20°. Dat levert ongeveer 6% meer op (≈+760 kWh per jaar), maar vraagt een rij van 16 m met één helling en meer staal, zoals we bij het doorrekenen van de opties zagen.

Wig 64 × 67 × 19,8 cm

Helling 17,2°, 99,8% van het beste

Goed zoals hij is. Richt hem op het ware zuiden. Onder 17° spoelen stof en regen er ook goed af.

De versies van 51 cm hoog (38,6–49,6°) zouden maar ongeveer 91–97% van het beste halen, en hun hogere frames vangen meer wind.

OPTIE	HELLING / RICHTING	ZONLICHT OP PANEEL	GESCHATTE ENERGIE PER JAAR*
Carport zoals ontworpen	3° · zuid	1.819 kWh/m²	≈26.500 kWh (18,2 kWp)
Carport verhoogd	10° · zuid	1.859 kWh/m²	≈27.100 kWh (+580)
A-vorm zoals ontworpen	10° · 7 Z + 7 N	1.777 kWh/m² gem.	≈12.900 kWh (9,1 kWp)
A-vorm alles zuid	17° · zuid	1.881 kWh/m²	≈13.700 kWh (+760)

*Energie = zonlicht op het paneel × performance ratio 0,80 × kWp. Dit is een schatting om opties te vergelijken. Controleer de absolute cijfers met PVGIS of Global Solar Atlas voor precies dit punt voordat u een klant een offerte geeft.⁹

6 · Wat er verder telt op locatie

- **Schaduw weegt zwaarder dan de hoek.** Een boom, paal of gebouw dat 's ochtends of 's middags een deel van een string beschadwt, kan meer kosten dan welke hellingskeuze ook. Controleer de horizon in het oosten, zuiden en westen, vooral voor de lage winterzon in het zuiden: 47° om 12 uur en veel lager in de ochtend.
- **Warmte.** Warme panelen leveren minder, ongeveer 0,3% per °C dat ze warmer worden. Een carport en een verhoogde A-vorm zijn aan de onderkant open en blijven koeler dan panelen die plat op een dak liggen.
- **Reiniging.** Plan een reiniging aan het eind van het droge seizoen (maart–april), wanneer stof en rook zich ophopen. Reinig vaker als de helling onder 10° ligt.
- **Houd elke string in één richting.** Bij de A-vorm horen de zuid- en noordhelling op aparte MPPT-ingangen, of op zijn minst aparte strings, omdat ze op verschillende momenten pieken.

Methode en aannames

Het maandelijkse zonlicht op vlakke grond is berekend uit de zonuren van het Royal Irrigation Department voor Chiang Rai (1981–2010)², met de Ångström–Prescott-formule en de standaardcoëfficiënten van FAO-56, $a = 0,25$ en $b = 0,50$.³ Deze maandtotalen zijn over elk uur verdeeld met het pvlib-helderehemelmodel (Linke-turbiditeit 4,0) en gesplitst in direct en diffuus licht (Erbs-methode). Daarna is het licht op elke helling en richting geprojecteerd met het Hay–Davies-hemelmodel, een grondreflectie van 0,2 en een verlies door invalshoek, alles in pvlib-python.¹¹ De relatieve resultaten (percentages en de beste hoek) zijn betrouwbaar. De absolute kWh hangen af van de omrekening van zonuren naar instraling, die iets boven de gepubliceerde regionale waarden uitkomt⁴, dus lees ze als de bovenkant. We konden de PVGIS- en NASA POWER-gegevens voor dit punt hier niet ophalen; die tools gebruiken is daarom een verstandige laatste controle.

Bronnen

1. Jacobson, M. Z. & Jadhav, V. (2018). World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels. *Solar Energy*. [Stanford PDF](#)
2. Klimaattabel Chiang Rai: zonuren 1981–2010 (Royal Irrigation Department), WMO-normalen 1991–2020. [Wikipedia – Chiang Rai](#)
3. Allen, R. G. et al. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper 56, hoofdstuk 3: meteorologische gegevens (Ångström-formule). [FAQ](#)
4. CapSolar. Zonne-opbrengst en performance ratio in Thailand (kWh/kWp-gids). [capsolar.co.th](#)
5. Green Energy Thailand. Optimale hoek en richting van zonnepanelen voor Thailand: regionale gids (2026). [greenenergythailand.com](#)
6. Zonne-energie in Thailand: potentieelcijfers van DEDE. [Wikipedia](#)
7. Solaris Green Energy. Solar GIS-kaart voor Thailand. [solaris.co.th](#)
8. REC Group (2013). Referentieproject: centrale van 9,5 MW, Mae Chan, Chiang Rai. [REC PDF](#)
9. Wereldbank / Global Solar Atlas. Thailand: kaarten van zoninstraling en PV-potentieel. [World Bank Data Catalog](#)
10. NASA Earth Observatory. Rook bedekt Noord-Thailand. [NASA](#)
11. pvlib-python: modellen voor zonnestand, heldere hemel, decompositie en transpositie. [pvlib-documentatie](#)
12. Analysis of soiling loss in photovoltaic modules: a review (2023). *Sustainability* 15(24):16669. [MDPI](#)