

# IV KONGRES NAUCZYCIELI FIZYKI

## WARSZAWA 2026

MINI-PROJEKTY MAKERSKIE Z DUŻYM POTENCJAŁEM – CZĘŚĆ 1:

## Kolektor słoneczny

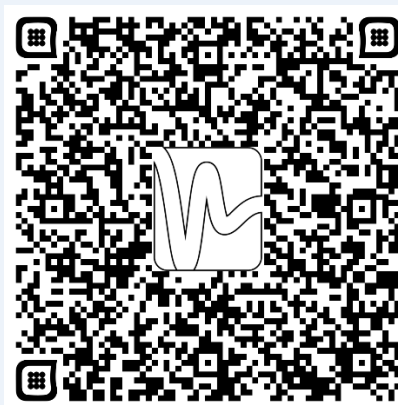


Politechnika Warszawska  
Wydział Fizyki

[Dariusz.Aksamit@pw.edu.pl](mailto:Dariusz.Aksamit@pw.edu.pl)

Wersja instrukcji: 2026.09.07

Pozostańmy w kontakcie



Newsletter nauczycielski

Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej



## Spis treści

|                                                               |   |
|---------------------------------------------------------------|---|
| 1. O co w tym chodzi.....                                     | 3 |
| 2. Fizyka projektu .....                                      | 3 |
| 3. Schemat konstrukcji.....                                   | 4 |
| 4. Symulacja w GeoGebra – projektujemy, zanim zbudujemy ..... | 5 |
| 5. Wersja demonstrowana na warsztacie.....                    | 6 |
| 6. Lista wyposażenia i jej alternatywy .....                  | 7 |
| 7. Dalsza eksploracja z uczniami .....                        | 8 |
| 8. Bezpieczeństwo.....                                        | 8 |
| Załącznik: Wątek klimatyczny .....                            | 9 |
| Załącznik: Powiązanie z podstawą programową .....             | 9 |



## 1. O co w tym chodzi

Budujemy działający kolektor słoneczny: rurę wypełnioną wodą, umieszczoną w ognisku parabolicznej rynny odbaskowej. Termometr rejestruje temperaturę wody w czasie, co pozwala policzyć pochłoniętą energię i sprawność urządzenia.

Kluczowa jest tu jednak nie sama konstrukcja, tylko **fakt, że da się ją zrobić na mnóstwo różnych sposobów** – od wycinania kształtek z tektury i wyklejania ich kocem ratunkowym po model otrzymany metodą druku 3D z precyzyjnie wyliczoną krzywizną paraboli – każdy wariant działa, ale różni się kosztem, czasem, estetyką i sprawnością. Właśnie te różnice stanowią najciekawszy materiał dydaktyczny w „makerskim” podejściu.

**Zasada przewodnia: low floor – high ceiling – wide walls.** Niski próg wejścia: każda grupa zbuduje coś, co działa, z materiałów, które są akurat dostępne. Wysoki sufit: grupa ambitna dobierze kształt paraboli w symulacji, wydrukuje żebra na drukarce 3D i policzy czas zwrotu inwestycji dla instalacji w pełnej skali. Szerokie ściany – nie ma „prawidłowego” rozwiązania, tylko eksperymentujemy z różnymi opcjami.

## 2. Fizyka projektu

Zwierciadło skupia promienie słoneczne w ognisku – zwierciadło sferyczne tworzy punktowe ognisko jedynie dla promieni leżących blisko osi optycznej, dlatego chcemy skonstruować **zwierciadło paraboliczne**, aby wszystkie padające promienie skupiały się na naszym absorberze. Dokładniej mówiąc, w tym projekcie będzie to „koryto paraboliczne”, czyli podłużna rynna, która w przekroju będzie miała kształt paraboli – jest to konstrukcja prostsza do wykonania niż zwierciadło osiowosymetryczne.

W wersji podstawowej można zignorować poniższe obliczenia i skupić się na namacalnym efekcie wzrostu temperatury wody, traktując projekt jakościowo. Przy podejściu ilościowym można obliczać ilość pochłoniętej energii, moc grzewczą urządzenia i jego sprawność:

### Energia pochłonięta przez wodę

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$m$  — masa wody [kg],  $c$  — ciepło właściwe wody = 4200 J/(kg·K),  $\Delta T$  — przyrost temperatury [K]

### Energia dostarczona przez Słońce

$$E = G \cdot A \cdot t$$

$G$  — natężenie promieniowania [W/m<sup>2</sup>], do zmierzenia luksemierzem lub przyjęcia średniej wartości (odczytanej z serwisu meteo dla danego dnia i danej lokalizacji),  $A$  — powierzchnia apertury [m<sup>2</sup>],  $t$  — czas [s]

### Sprawność

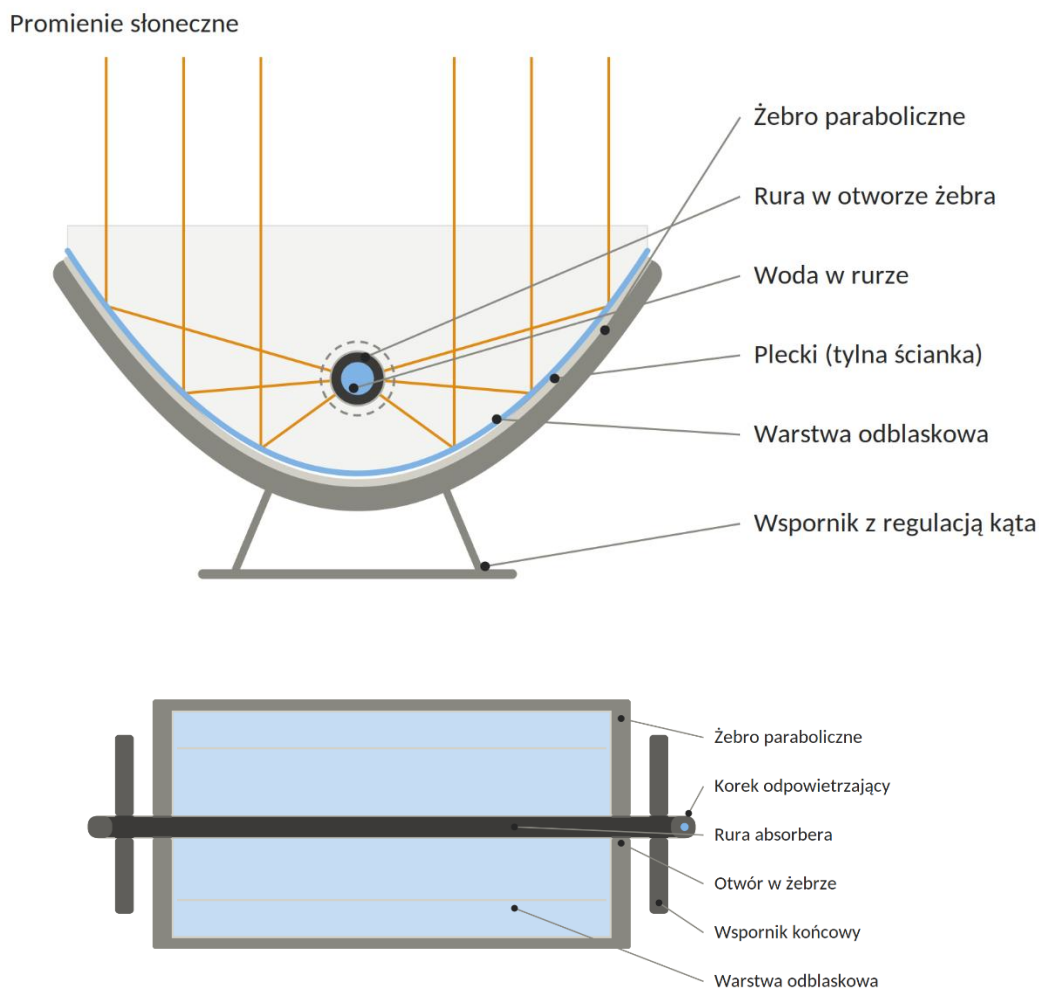
$$\eta = Q / E$$

W szczególności na sprawność wpływać będzie:

- Refleksyjność powierzchni – folia aluminiowa, srebrna farba, powierzchnia zwierciadlana...?
- Użyty absorber – kolor pręta i jego ciepło właściwe, aby efektywnie grzać wodę w jego wnętrzu

### 3. Schemat konstrukcji

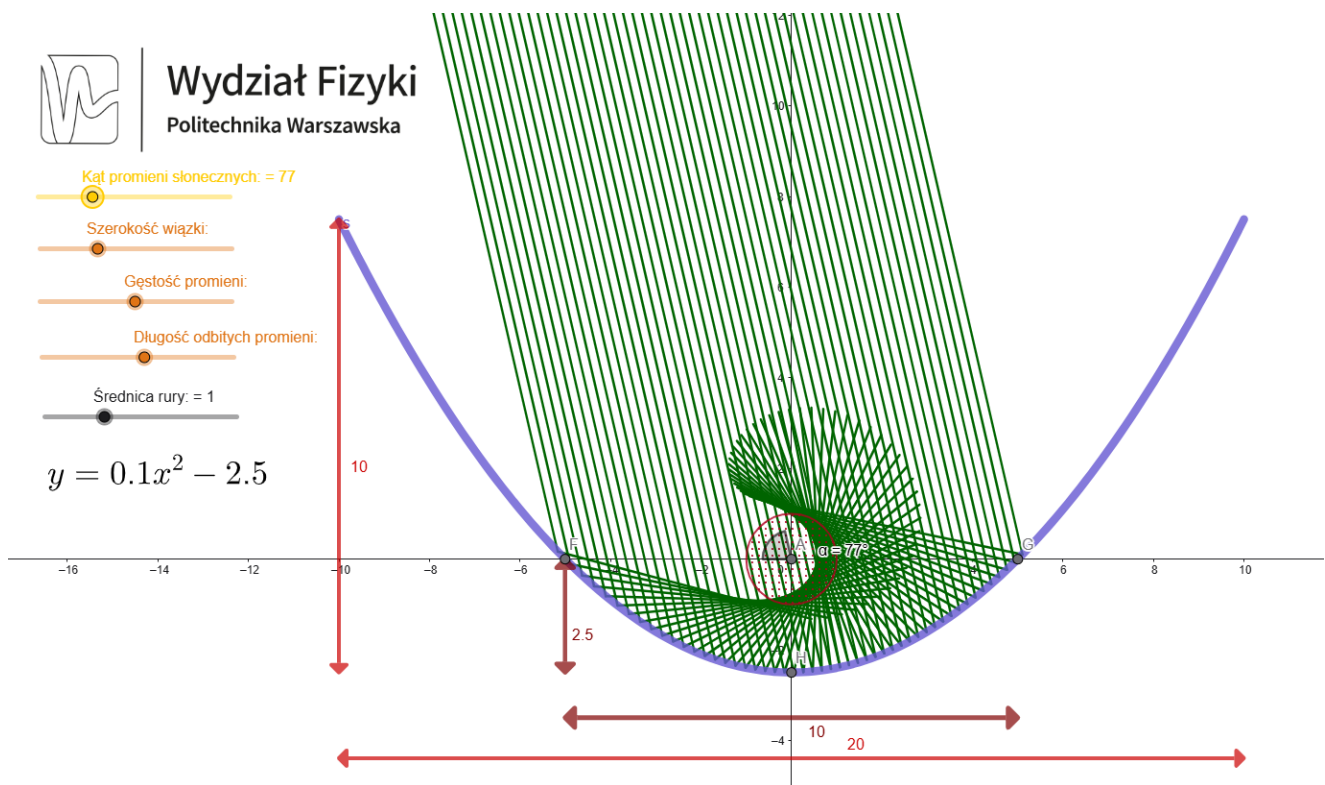
Poniżej widoczne są rzuty poprzeczny i pionowy:



Sugerowanym następnym etapem projektu jest połączenie końcówek rury gumowym wężykiem ze zbiornikiem z wodą (np. styropianowym pudełkiem po lekach), wymuszając obieg wody np. pompką akwariową. W efekcie pomiar temperatury wody we względnie dużym, izolowanym termicznie pojemniku pozwoli wyznaczyć moc grzewczą urządzenia.

## 4. Symulacja w GeoGebrze – projektujemy, zanim zbudujemy

Pierwsze prototypy można budować metodą prób i błędów – można też skorzystać z symulacji. Poniższy aplet w GeoGebrze rysuje parabolę o zadanych parametrach (wybór akurat takiej funkcji i takich rozmiarów podyktowany był rozmiarem pola roboczego naszej drukarki 3D i chęcią maksymalizacji powierzchni przekroju przy jednoczesnym odsunięciu ogniska od punktu minimum, ale utrzymaniu go pomiędzy ramionami przyciętej paraboli), rysuje serię równoległych promieni pod zadaniem kątem i pokazuje, gdzie trafiają po odbiciu. W ten sposób można analizować, czy przy danej średnicy rury absorbera promienie będą w niego trafiały, nawet jeśli nie będą padać pionowo z góry.



<https://www.geogebra.org/classic/jvvzepakr>

Do czego może to posłużyć na zaawansowanej lekcji:

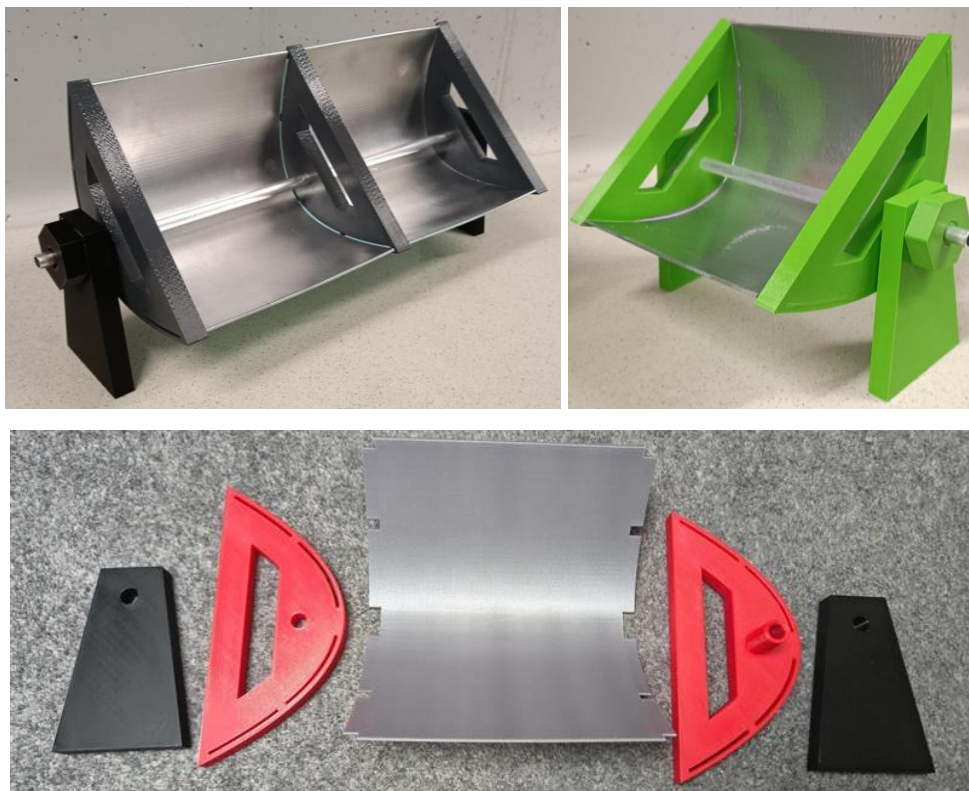
- **Dobór apertury i głębokości rynny.** Uczniowie zmieniają szerokość i głębokość i widzą, jak przesuwa się ognisko. Z tego odczytują, na jakiej wysokości nad dnem trzeba zamocować rurę.
- **Wrażliwość na niedokładność wykonania.** Wystarczy lekko zmienić kształt paraboli, żeby zobaczyć, jak rozmywa się ognisko. To najlepszy argument za tym, żeby żebra wyciąć albo wydrukować dokładnie, a nie „na oko”.
- **Dobór średnicy rury.** Promienie padające pod kątem nie zbiegają się w punkcie. Zbyt cienka rura przepuszcza część energii obok; zbyt gruba niepotrzebnie zwiększa powierzchnię strat. Jakie jest optimum?
- **Powiązanie z matematyką.** Parabola przestaje być wzorem do wykucia i staje się narzędziem projektowym. Ognisko przestaje być definicją, a zaczyna być miejscem, w którym trzeba położyć rurę.

**Sposób pracy:** grupa ustala parametry w aplecie, zapisuje je i przenosi na materiał – tworzy model 3D do wydruku o takiej krzywiznie, drukuje parabolę na kartce i wycina z takiego szablonu kształtkę z tektury lub tworzy ręcznie taką parabolę na papierze milimetrowym, korzystając z zasymulowanego wzoru i kalkulatora.

## 5. Wersja demonstrowana na warsztacie

Konstrukcja pokazywana podczas Kongresu (05.09.2026) opiera się na druku 3D, ale **każdy jej element ma odpowiednik możliwy do wykonania bez drukarki**.

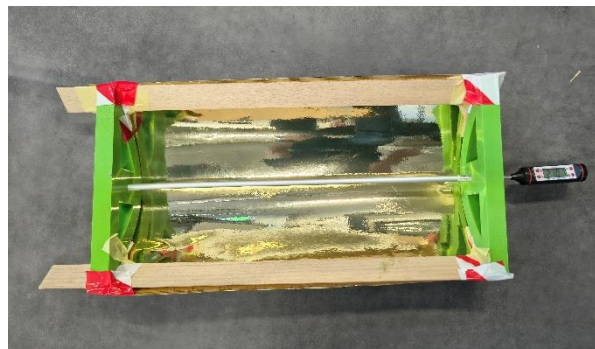
- **Żebra paraboliczne** — dwa (lub trzy i więcej, jeśli chcemy konstrukcję o większej aperturze) drukowane profile wyznaczające kształt rynny z otworem w ognisku na przeprowadzenie rury absorbera. Ich krzywizna i położenie otworu pochodzą wprost z apletu GeoGebry.
- **Plecki** — wydruk cienkościenny o tej samej krzywiznie. Po pomalowaniu srebrną farbą tworzy powierzchnię odbłaskową. W ostatniej wersji wprowadziliśmy „zębki” wystające w pleckach i wcięte w żeberkach, umożliwiające montaż konstrukcji „na wcisk”.
- **Uchwyty rury** — drukowane, w ostatniej wersji z wewnętrznym gwintem będącym negatywnym gwintu wystającego z jednego z żeberek, co umożliwia pochylenie całości w stronę Słońca pod dowolnym kątem.
- **Rura absorbera** — cienkościenna rura aluminiowa (powinna być pomalowana na czarno, u nas pozostała srebrna), zamknięta korkami z plasteliny lub z dołączonymi wężykami do obiegu wody.



Modele 3D wykonane zostały przez Sviatlanę Volchak – pracujemy nad ich upublicznieniem, póki co, w celu udostępnienia proszę o maila na adres w nagłówku.

## 6. Lista wyposażenia i jej alternatywy

Poniższe zdjęcia wykonane na zajęciach Masterclass w Akademeia High School w lutym 2025 roku pokazują pierwsze prototypy przygotowane przez uczniów – otrzymali oni wydrukowane żebra paraboliczne, ale plecki i warstwę odblaskową musieli stworzyć sami. **Wszystkie elementy można kupić, znaleźć lub wykonać samodzielnie** – to jest sedno projektu: obudzić kreatywność, zaproponować własne rozwiązanie przy dostępnych zasobach i porównać otrzymany efekt. Nawet mając gotowy zestaw materiałów, nadal warto przydzielić grupom różne ścieżki (np. malowanie wydrukowanego szablonu różnymi rodzajami farby) i porównać wyniki – to sposób, żeby uczniowie zobaczyli, że inżynieria to ciąg kompromisów, a nie odtwarzanie instrukcji.



| Element                   | Kup/weź gotowe                                                                               | Z odzysku / za darmo                                                                  | Zrób sam / good enough                                                                          |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Absorber</b>           | rura aluminiowa 10 mm ze sklepu modelarskiego lub miedziana ze sklepu z instalacjami wod-kan | odcinek rury z demontażu, stara rurka chłodnicza, puszki po napojach sklezione w rząd | czarny wąż ogrodowy                                                                             |
| <b>Czernienie</b>         | farba w sprayu                                                                               | sadza ze świecy, czarna taśma izolacyjna, czarny worek na śmieci                      | flamaster permanentny albo czarna taśma naklejona w zakładkę                                    |
| <b>Żebra paraboliczne</b> | druk 3D wg parametrów z GeoGebry                                                             | stara antena satelitarna (inna konstrukcja!), rozgięta rynna dachowa                  | szablon odrysowany z ekranu lub narysowany ręcznie na papierze milimetrowym i wycięty z kartonu |
| <b>Plecki</b>             | cienki wydruk 3D                                                                             | Wygięta tektura, przyklejone drewniane listewki                                       | Wypolerowana blacha wygięta w kształt żeber                                                     |
| <b>Warstwa odblaskowa</b> | folia lustrzana samoprzylepna, blacha alu polerowana                                         | koc ratunkowy z apteczki, folia z opakowania po kawie                                 | srebrna farba w sprayu albo folia aluminiowa przyklejona taśmą                                  |
| <b>Uchwyty rury</b>       | drukowane 3D z PETG                                                                          | klocki drewniane z wyciętym półkolem, korki                                           | dwie opaski zaciskowe wokół żebra                                                               |
| <b>Pomiar temperatury</b> | termometr z sondą; czujnik cyfrowy z mikrokontrolerem                                        | termometr kuchenny, czujnik ze starej stacji pogodowej                                | jakościowo – sprawdzić dłonią                                                                   |
| <b>Obieg wody</b>         | pompka wodna 12 V z zasilaczem laboratoryjnym lub baterią 9V                                 | pompka z akwarium, ze spryskiwacza samochodowego                                      | brak obiegu — grzejemy wodę stojącą w rurze, i to wystarczy                                     |
| <b>Rejestracja danych</b> | rejestrator z kartą SD plus czujnik natężenia promieniowania słonecznego                     | zeszyt w kratkę i długopis                                                            | mikrokontroler, arkusz i wykres w czasie rzeczywistym                                           |

## 7. Dalsza eksploracja z uczniami

---

Każdy z wyborów konstrukcyjnych miał jakieś skutki – jakie i dlaczego?

- Czy grupa, która zbudowała kolektor za 12 zł, dostała gorszą sprawność? Sprawdźmy w danych.
- Który z wyborów najbardziej wpływa na wynik pomiaru, a który tylko na wygląd lub cenę?
- O ile srebrna farba jest gorsza od folii lustrzanej? Czy różnica uzasadnia dodatkową pracę?
- Co byście zmienili, gdyby kolektor miał pracować przez cały rok na dachu, a nie przez godzinę na parapecie?
- Który element nie ma sensu robić samodzielnie i dlaczego akurat ten?

### Rozszerzenia dla ambitnych

- Porównanie rury matowo czarnej, niemalowanej i białej — trzy krzywe pomiarowe zmian temperatury w czasie na jednym wykresie.
- Porównanie plecków malowanych srebrną farbą i wyklejonych folią lustrzaną.
- Dodanie przykrycia (szyba, pleksi) i pomiar efektu szklarniowego w małej skali (czy kolektor pochłania światło widzialne czy podczerwień?).
- Wyznaczenie ogniska doświadczalnie (laser z soczewką cylindryczną dający linię prostą) i porównanie z przewidywaniem z symulacji.
- Automatyczna rejestracja danych mikrokontrolerem z czujnikami temperatury.
- Wyznaczenie temperatury równowagi (starty radiacyjne absorbera zrównują się z ilością pochłanianej energii) i prawa stygnięcia po zastąpieniu Słońca.
- Obliczenie czasu zwrotu inwestycji i unikniętej emisji CO<sub>2</sub> dla instalacji w pełnej skali.
- Pomiar w różne dni i korelacja z danymi o zachmurzeniu z lokalnej stacji meteorologicznej.

## 8. Bezpieczeństwo

---

- Nie patrz w światło odbite i skupione przez rynnę!
- Drewno i plastik tnij oraz wierć wyłącznie pod nadzorem, w unieruchomionym materiale.
- Maluj w miejscu dobrze wentylowanym, z dala od otwartego ognia.
- Nie zostawiaj napełnionego kolektora na mrozie.

## Załącznik: Wątek klimatyczny

Ciepła woda użytkowa to w polskim domu istotna część zużycia energii – pozycja, którą kolektor słoneczny potrafi realnie obniżyć. To projekt, w którym uczeń nie tylko *dowiaduje się* o transformacji energetycznej, ale buduje jej element i mierzy, ile jest wart.

Wątki do podjęcia z klasą:

- **Od modelu do instalacji.** Jaka powierzchnia kolektora zapewni ciepłą wodę czteroosobowej rodzinie? Policzyć energię potrzebną do podgrzania 200 l wody o 30 K i porównać ze typowym strumieniem energii promieniowania słonecznego w Waszej okolicy.
- **Czas zwrotu i zmniejszona emisja.** Ile kilogramów CO<sub>2</sub> oszczędza rocznie kolektor zastępujący podgrzewanie wody gazem albo prądem? Ile kosztuje instalacja, a jaki jest koszt zaoszczędzonej energii?
- **Sezonowość jako problem inżynierski.** Kolektor daje najwięcej wtedy, kiedy najmniej tego potrzebujemy. To ta sama trudność, która dotyczy całego systemu energetycznego – wąskim gardłem jest magazynowanie, nie produkcja.
- **Technologia low-tech ma sens.** Solarna pasteryzacja wody, suszarki i kuchenki słoneczne to rozwiązania nie tylko stosowane tam, gdzie nie ma dostępu do sieci energetycznej. To realnie działa, zmniejsza koszty i redukuje emisję.

## Załącznik: Powiązanie z podstawą programową

| Etap                      | Dział podstawy                     | Co realnie realizujemy                                                                                                         |
|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SP kl. VII–VIII           | Zjawiska cieplne                   | ciepło właściwe, bilans cieplny, przekazywanie energii przez promieniowanie, konwekcję i przewodzenie, rola koloru powierzchni |
| SP kl. VII–VIII           | Energia                            | przemiany energii, sprawność urządzenia, źródła energii                                                                        |
| SP kl. VII–VIII           | Optyka                             | odbicie światła, skupianie promieni, zwierciadła i ognisko                                                                     |
| SP kl. VII–VIII           | Wymagania przekrojowe              | planowanie pomiaru, tabela wyników, wykres, szacowanie niepewności                                                             |
| Liceum, zakres podstawowy | Termodynamika                      | I zasada termodynamiki, ciepło właściwe, bilans cieplny, mechanizmy transportu energii                                         |
| Liceum, zakres podstawowy | Fale i optyka                      | promieniowanie elektromagnetyczne jako nośnik energii, odbicie, ognisko zwierciadła                                            |
| Zakres rozszerzony        | Termodynamika                      | strumień energii, prawo stygnięcia, przybliżenie ciała doskonale czarnego, promieniowanie temperaturowe                        |
| Poza fizyką               | matematyka, informatyka, geografia | parabola i jej ognisko, funkcja i wykres, dopasowanie krzywej, arkusz kalkulacyjny, akwizycja danych, zasoby energetyczne      |