

T A
Č R

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní Centra kompetence

www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost

BIOCIRKL

Národní centrum kompetence
„Biorafinace a cirkulární ekonomika pro udržitelnost“



Funded by the
European Union
NextGenerationEU

Možnosti využití renovovaných fotovoltaických modulů

prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc., ČVUT v Praze

Ing. Ladislava Černá, Ph.D., ČVUT v Praze

Ing. Karel Soukup, Ph.D., ÚCHP AV ČR, v. v. i.

Tomáš Pešek, REMA Systém, a. s.

Ing. Bc. Kamila Vávrová, Ph.D., Výzkumný ústav pro krajinu, v. v. i.

Ing. Olga Šolcová, CSc. DSc., ÚCHP AV ČR, v. v. i.



REMA
SYSTÉM



T A
Č R

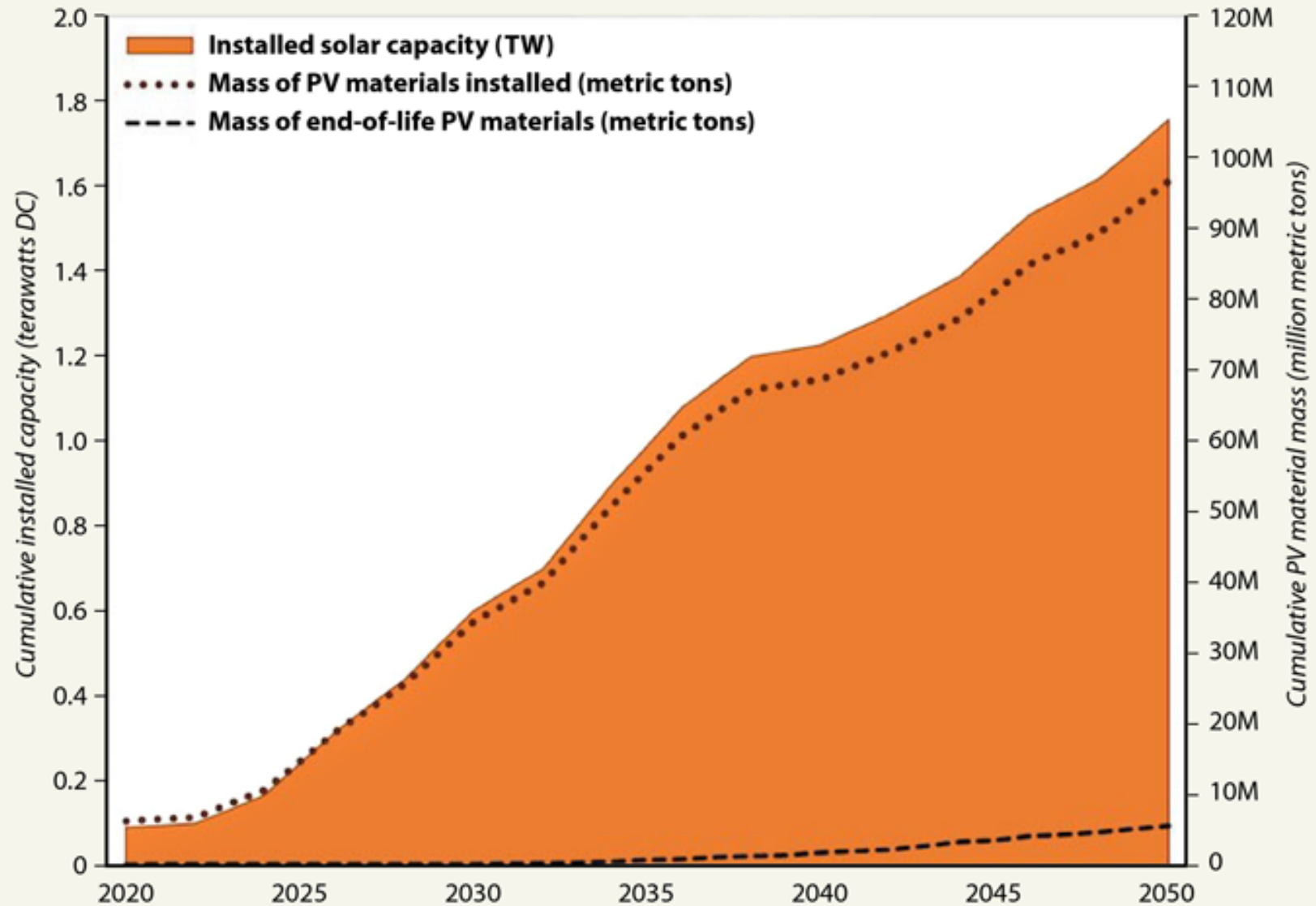
Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní Centra kompetence

www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost

Motivace

CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY AND PHOTOVOLTAIC MATERIALS

In terawatts DC power and metric tons of materials, 2020-2050



SOURCE: NREL

Inside Climate News

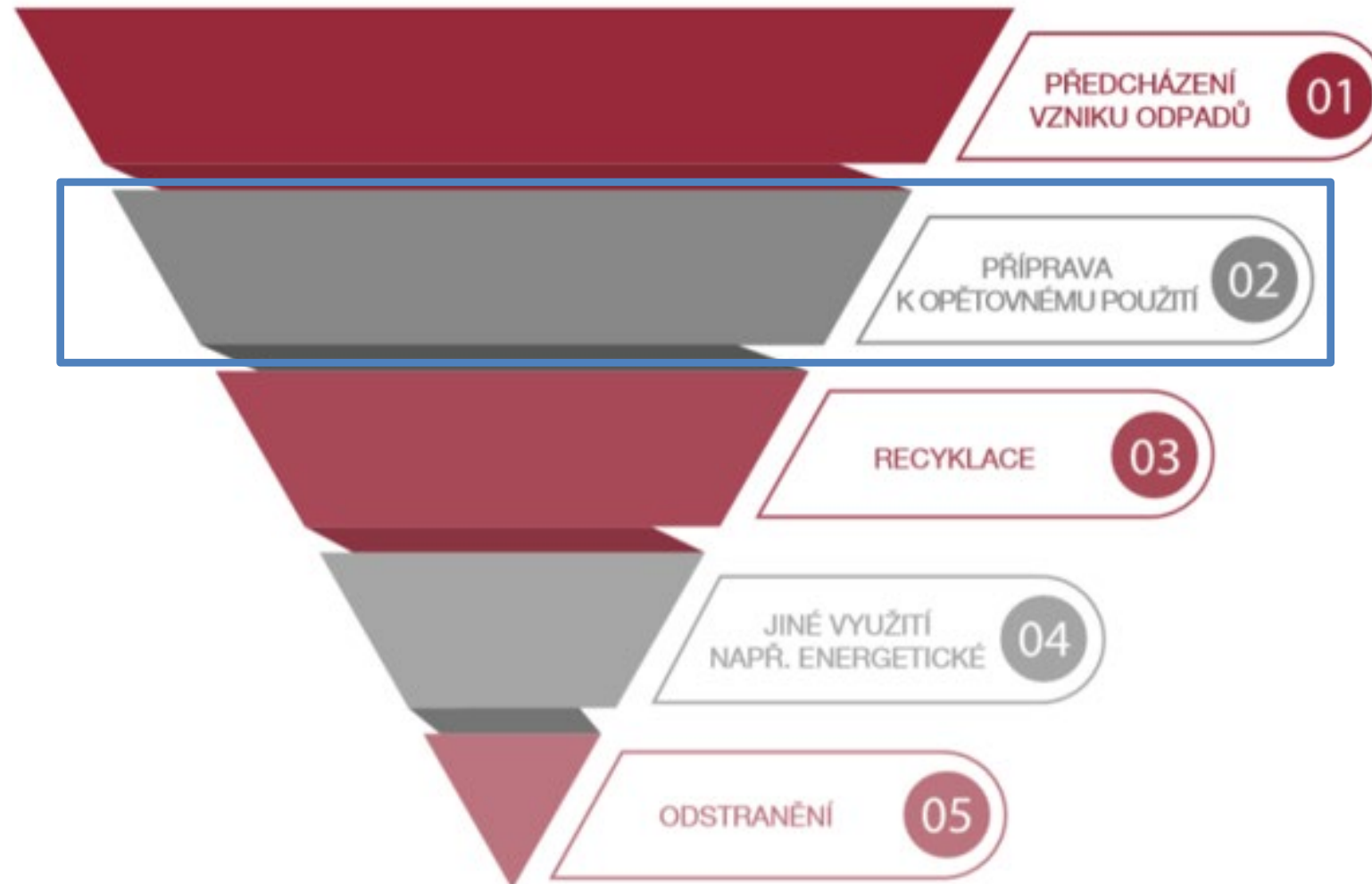


T A
Č R

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní Centra kompetence

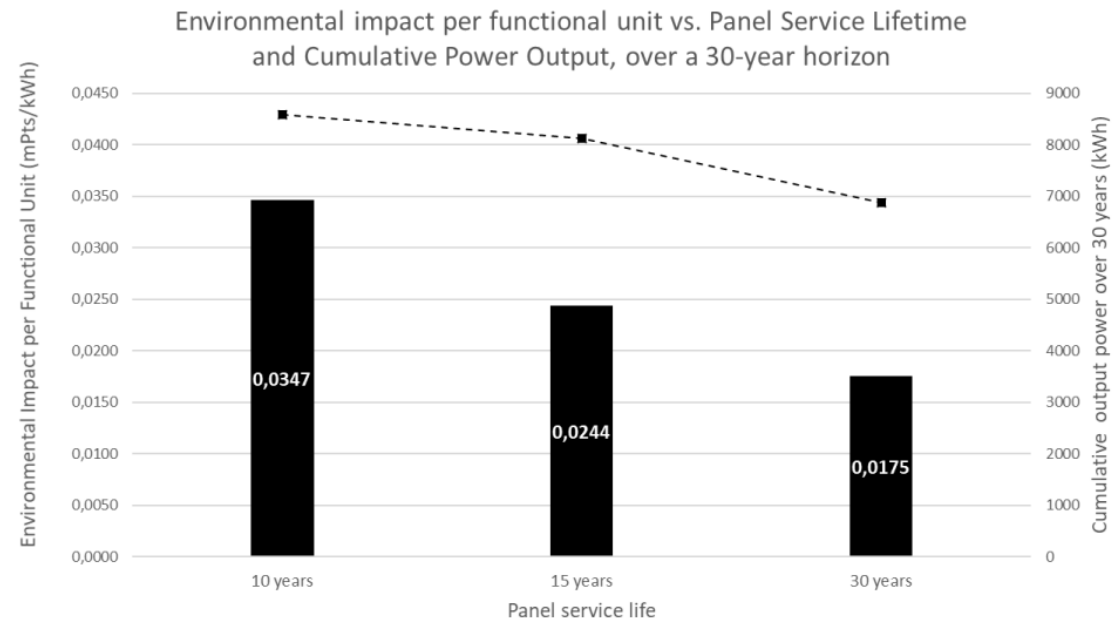
www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost.

Hierarchie odpadů



Reuse fotovoltaických modulů - přínosy

- **Environmentální přínos** – prodloužení životního cyklu modulů vede ke snížení potřeby výroby nových zařízení, a tím i ke snížení uhlíkové stopy a materiálové náročnosti.
- **Ekonomická dostupnost** – repasované moduly mohou výrazně snížit investiční náklady, což je výhodné zejména pro aplikace s nižšími požadavky na výkonovou hustotu (tzn. nejsou limity z pohledu plochy instalace)
- **Vhodnost pro specifické aplikace** – např. agrivoltaika, kde není maximální výkon na jednotku plochy vždy prioritou a částečné zastínění může být dokonce žádoucí.



N. Rajagopalan et al. Preliminary Environmental and Financial Viability Analysis of Circular Economy Scenarios for Satisfying PV System Service Lifetime. In: *Home - IEA-PVPS* [online]. Německo: IEA-PVPS, 11-2021. Dostupné z: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/11/IEA_PVPS_T12_Preliminary-EnvEcon-Analysis-of-module-reuse_2021_report.pdf

Reuse fotovoltaických modulů - rizika

- **Technická rizika**
 - degradace izolačních vlastností → riziko úrazu elektrickým proudem
 - pronikání vlhkosti → další degradace
 - selhání konektorů (potvrzeno experimentem)
- **Provozní rizika**
 - nižší a nestabilní výkon
 - vyšší pravděpodobnost poruch
- **Bezpečnostní a legislativní rizika**
 - absence jasných standardů pro reuse
 - otázky odpovědnosti za provoz
- **Ekonomická rizika**
 - cena reuse modulů ve vztahu k návratnosti celého budoucího systému



Eliminace technických, provozních, bezpečnostních a legislativních rizik

- **Technická a provozní rizika** jsou do značné míry svázány s technickými parametry PV modulů a k jejich eliminaci je nutné provést důkladný výběr modulů.
- **Kritéria výběru**
 - mechanická integrita (poškození skla a dalších částí modulu, mikrotrhliny, delaminace),
 - izolační stav modulu,
 - absence elektrochemické koroze,
 - stav periferních komponent.
- **První výběr** ideálně v místě původní instalace

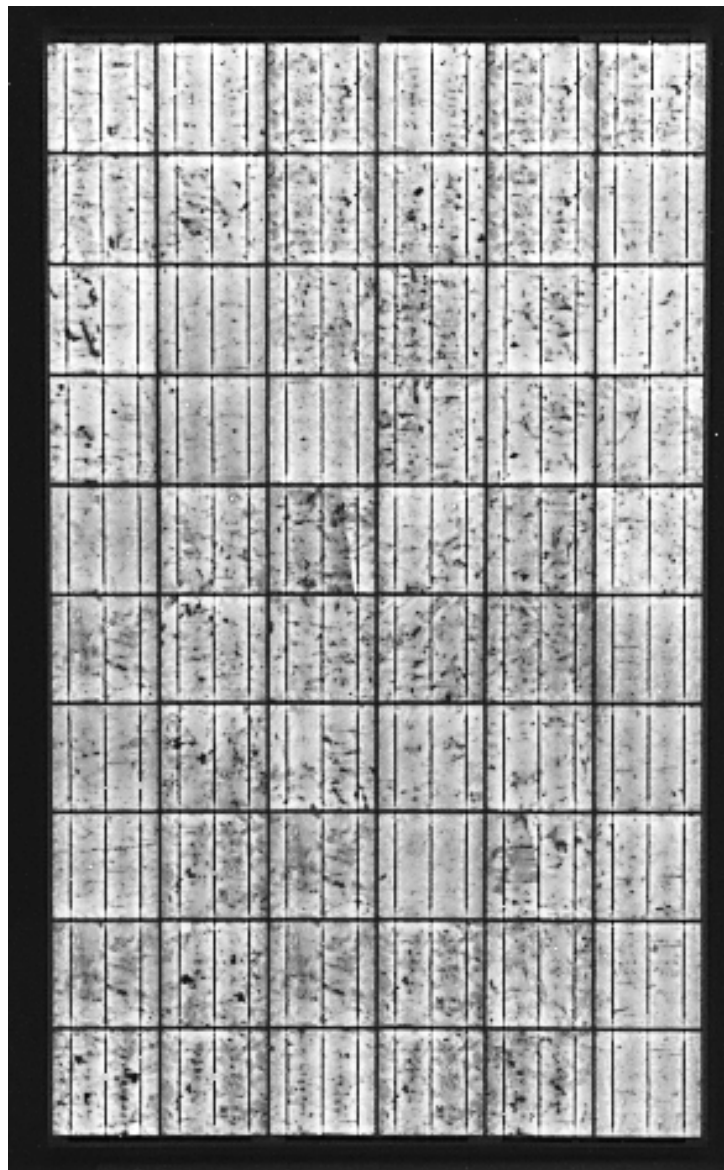
Metody následného třídění

- **UV fluorescence** (nelze vždy)
 - Využívá fluorescence UV absorbérů v pouzdřicí fólii EVA. V oblastech, kde je přítomná vlhkost (okraje článků, praskliny, elektrochemická koroze podél sběrnic), jsou UV absorbéry „zlikvidovány“, tzn. nefluoreskují



Metody následného třídění

- **Elektroluminiscence**
 - Metoda využívá rekombinačního záření, kdy je modul napájen zdrojem proudu a rekombinační záření je snímáno speciální kamerou. Části, které „nesvítí“, představují defekty.
- **HiPot testy**
 - Testování izolačního stavu – bezpečnost provozu:
 - Elektrická pevnost
 - Izolační odpor
- **Flash testy** – měření štítkových parametrů
 - Ověření výkonu, napětí, proudu



Ekonomické parametry reuse PV modulů

- Metodika hodnocení LCOE – Levelized Cost of Electricity
 - Využívá se pro srovnání cen elektřiny z různých zdrojů
 - Zohledňuje vždy celou dobu životnosti panelu (i případné likvidace, je-li součástí projektu)

$$LCOE = \frac{CAPEX(PV) + CAPEX(BOS) + \sum_{t=1}^N \frac{OPEX}{(1 + Cena_{peněz})^t}}{\sum_{t=1}^N EY \cdot \frac{(1 - Degradace)^t}{(1 + Cena_{peněz})^t}}$$

Ekonomické parametry reuse PV modulů

| Parametr | Jednotka | Nový modul | Re-use modul |
|-----------------------------------|------------------|------------|--------------|
| MPP | W_p | 310 | 224 |
| Životnost | Roky | 30 | 15 |
| Cena modulu | Kč/ kW_p | 6250 | 2150 |
| Cena BOS - závislé na ploše | Kč/ kW_p | 3800 | 3800 |
| Cena BOS - nezávislé na ploše | Kč/ kW_p | 1875 | 1875 |
| OPEX | Kč/ kW_p /rok | 425 | 425 |
| Degradace | % | 0,7 | 0,7 |
| Diskont (cena peněz, inflace,...) | % | 4,9 | 4,9 |
| EY v 1. roce | kWh/ kW_p /rok | 1000 | 1000 |
| LCOE | Kč/kWh | 1,29 | 1,18 |



Případová studie – instalace na skleníku

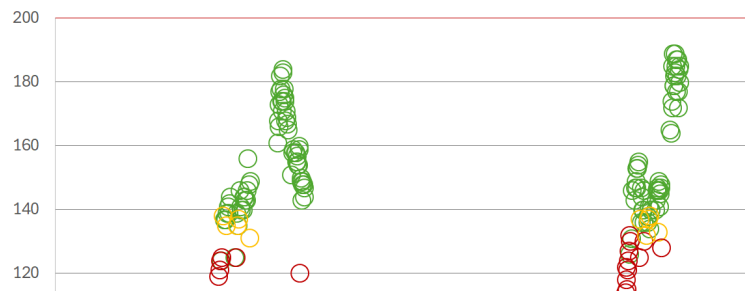
- Nejprve byl proveden výběr modulů (UV fluorescence, elektroluminiscence, měření štitkových parametrů, ověření izolačního stavu). Moduly s nevyhovujícím izolačním stavem byly opatřeny ochranným nástřikem
- Problémem byl zejména stav konektorů, které musely být vyměněny



Metodika identifikace potenciálu solárních panelů pro opětovné použití -

Testování solárních panelů

- kontrola fyzického stavu panelů,
- měření výkonu pomocí solárního analyzátoru, který byl doplněn o senzory intenzity slunečního záření a měření teploty pro následné korekce výsledků,
- výběr panelů vhodných k opětovnému použití (~180 Wp).



> 80
%

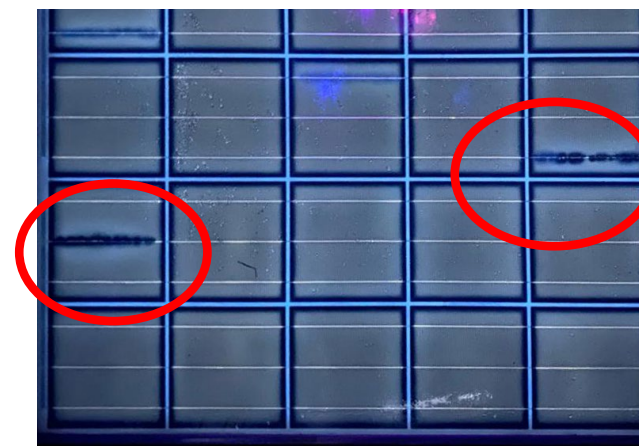
Solárních panelů
vhodných k
opětovnému použití

Repase solárních panelů

- kontrola konektorů,
- nástřik panelů polysiloxanovým gelem.

Testování repasovaných solárních panelů

Provedení standardního Flashtestu ve fotovoltaické laboratoři ČVUT.



Provedení UV luminiscence, dokumentace závad.
Sledování úspěšnosti konzervačního procesu.

Instalace repasovaných solárních panelů na produkční skleníky **VÚKOZ**

- zhotovení statických posudků skleníků pro osazení repasovaných SP,
- navržení způsobu instalace a zapojení,
- instalace a zapojení solárních panelů (probíhá nyní)

Repasované solární panely budou využity jako zastínění rostlin a pro výrobu elektrické energie.

Projekt bude pokračovat

- mapováním pomocí UV luminiscence
- sledováním dopadu zastínění na produkci rostlin,
- měřením výroby elektrické energie,
- sledováním rozvoje konzervovaných závad.



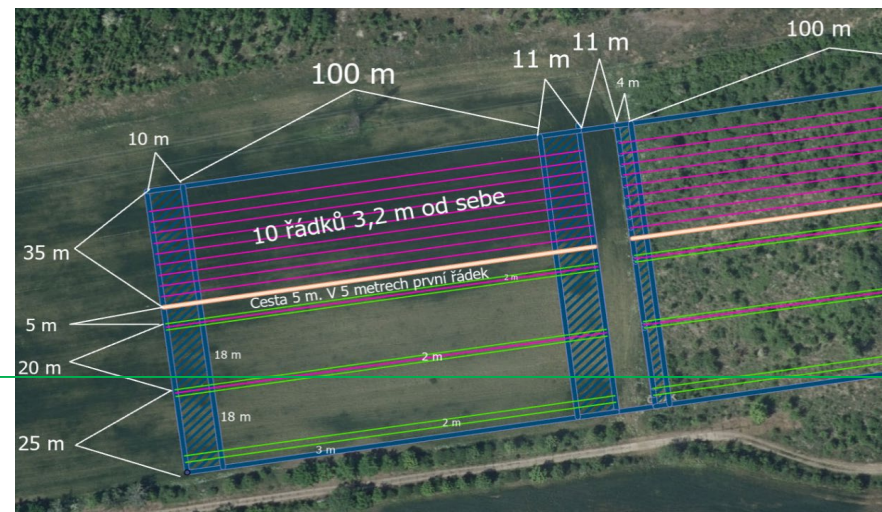
Instalace repasovaných solárních panelů na výsypky společnosti **Sev.en**

- návrh osevních ploch, předpokládané zastínění,
- navržení způsobu instalace a zapojení.

Repasované solární panely budou využity jako oplocení obhospodařovaných ploch před zvěří a pro výrobu elektrické energie.

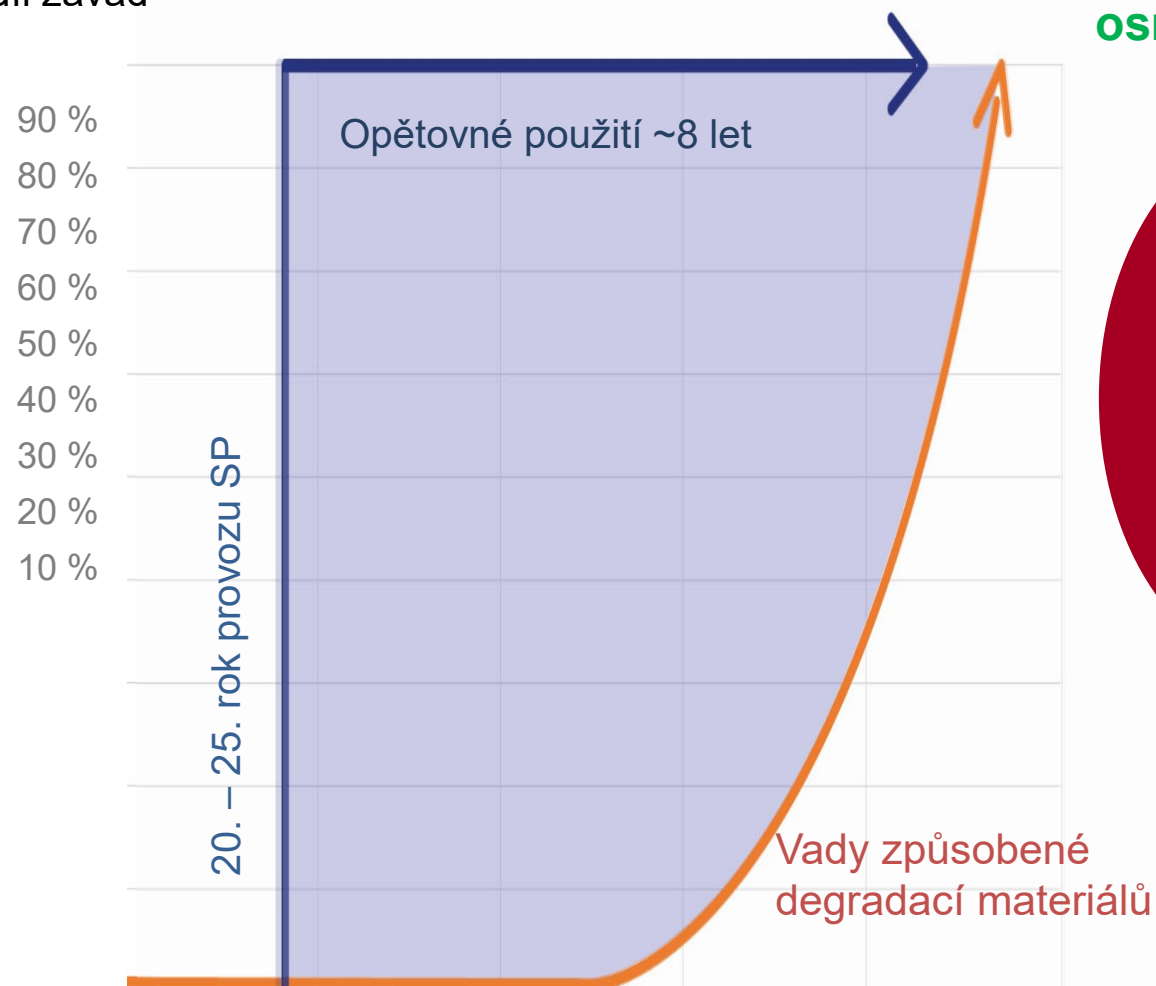
Projekt bude pokračovat

- instalací,
- mapováním pomocí UV luminiscence,
- měřením výroby elektrické energie,
- sledováním rozvoje konzervovaných závad.



Scénář životnosti repasovaného solárního panelu

Podíl závad



Jeden solární panel v průběhu osmi let opětovného použití:

vyrobí 2,1 MWh

ušetří
0,9 t
CO₂ ekv.

Závěr

- Opětovné využití (reuse) fotovoltaických modulů bylo posouzeno z pohledu technicko-ekonomického
 - Identifikována rizika
 - Vytipovány vhodné metody pro reuse
 - Provedena analýza výhodnosti reuse s využitím LCOE
- Reuse moduly byly instalovány na skleníku, provoz je průběžně vyhodnocován
 - Před instalací je vhodné vyměnit konektory

Pešek, T.; Černá, L.;
Rybyšar, O.;
Klášterková, T.
*Renovovaný
fotovoltaický modul.*
[Funkční vzorek] 2025.

T A
Č R

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní Centra kompetence

www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost.

BIOCIRKRL

Národní centrum kompetence
„Biorafinace a cirkulární ekonomika pro udržitelnost“



Funded by the
European Union
NextGenerationEU



ÚSTAV
CHEMICKÝCH
PROCESŮ
AV ČR

Děkuji za pozornost



Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí



ORLEN
UNIPETROL



RABBIT
TRHOVÝ ŠTĚPÁNOV a.s.



Univerzita Palackého
v Olomouci



Výzkumný ústav
pro krajinu,
v.v.i.



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



T A
Č R

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní Centra kompetence

www.tacr.cz
Výzkum užitečný pro společnost.