

Plovoucí fotovoltaická elektrárna

Floating photovoltaic power plant / Schwimmende Photovoltaikanlagen

ING. PAVEL KOCOUREK¹, ING. LUBOMÍR PURCHART¹, ING. FILIP STRASSER¹,
ING. JIŘÍ VOLDHONS¹, ING. VLADIMÍR HERŠKOVIČ²

¹Prodeco, a.s., Bílina

²Severočeské doly a.s., Bílina

Přijato: 28. 4. 2022, recenzováno: 16., 19. a 23. 5. 2022

ABSTRAKT

Velké zábory zemědělské půdy – tuto zřejmě největší nevýhodu solárních elektráren, se stále více zemí snaží řešit umístováním fotovoltaických panelů na střechy továrních hal, obchodních center, úřadů i obytných domů. Rychlým tempem ale přibývají i systémy využívající vnitrozemské vodní plochy. Na světě bylo ke konci roku 2019 v provozu přes 340 plovoucích elektráren o výrobní kapacitě téměř 3 GW v přibližně 40 zemích [1].

Large occupations of agricultural land - probably the biggest disadvantage of solar power plants, more and more countries are trying to solve by placing photovoltaic panels on the roofs of factory halls, shopping centres, offices and residential houses. However, systems using inland water areas are also growing rapidly. At the end of 2019, there were more than 340 floating power plants in the world with a production capacity of almost 3 GW in approximately 40 countries [1].

Die großen Beschlagnahmen von Ackerböden – diesen offenbar größten Nachteil der Solarkraftwerke wollen immer mehr Länder durch das Anbringen der Photovoltaikpaneels an die Dächer von Fabriken, Einkaufszentren, Büros und Wohnhäusern lösen. In einem raschen Tempo wachsen aber auch die Binnenwasserflächen nutzenden Systeme zu. Zu Ende des Jahres 2019 wurde weltweit über 340 schwimmenden Kraftwerke mit einer Produktionskapazität von fast 3 GW in annähernd 40 Ländern [1].

Klíčová slova: plovoucí - fotovoltaická elektrárna - kotvení

Keywords: floating - photovoltaic power plant - mooring

1 | ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Cílem projektu byl návrh a instalace plovoucí fotovoltaické elektrárny na horní nádrži přečerpávací elektrárny na vrchu Homole ve Štěchovicích, viz obrázek č. 1. Realizace byla rozdělena na testovací pilotní projekt, který měl ověřit projektové řešení zejména přes problematické zimní období, a následné rozšíření na elektrický příkon rezervovaný v uvažovaném distribučním bodě.

Specifika horní nádrže přečerpávací elektrárny Štěchovice jsou pětiúhelníkový tvar, kolmé betonové stěny s žulovou korunou a dno, které je tvořeno

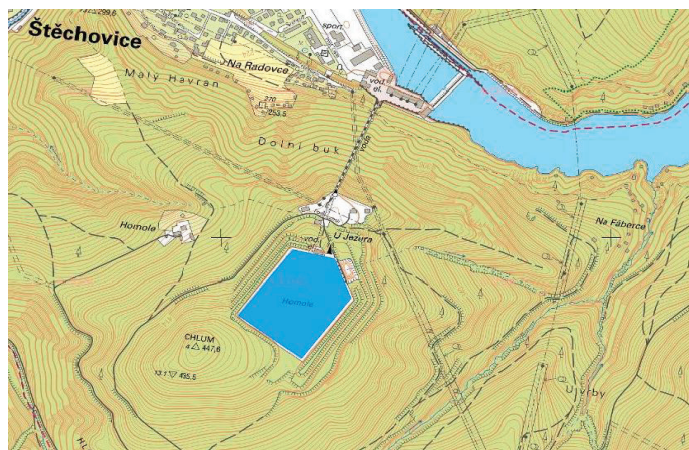
jílovou vrstvou zajišťující minimální propustnost vody. Běžné fotovoltaické elektrárny na vodní hladině se obvykle kotví do dna dané vodní plochy, ale do jílového dna není možné kotvit kvůli riziku jeho možného porušení a následných průsaků vody. Další problematický faktor je velký rozdíl mezi minimální a maximální pracovní hladinou nádrže, který činí 9 metrů. Ke kolísání hladiny může docházet i 3x denně dle potřeby provozu elektrárny. V tomto rozsahu musí být fotovoltaická elektrárna po mechanické stránce bezpečná v jakémkoliv ročním období a nesmí nijak omezovat provoz vodní přečerpávací elektrárny.

2 | OBECNÝ POPIS ZAŘÍZENÍ

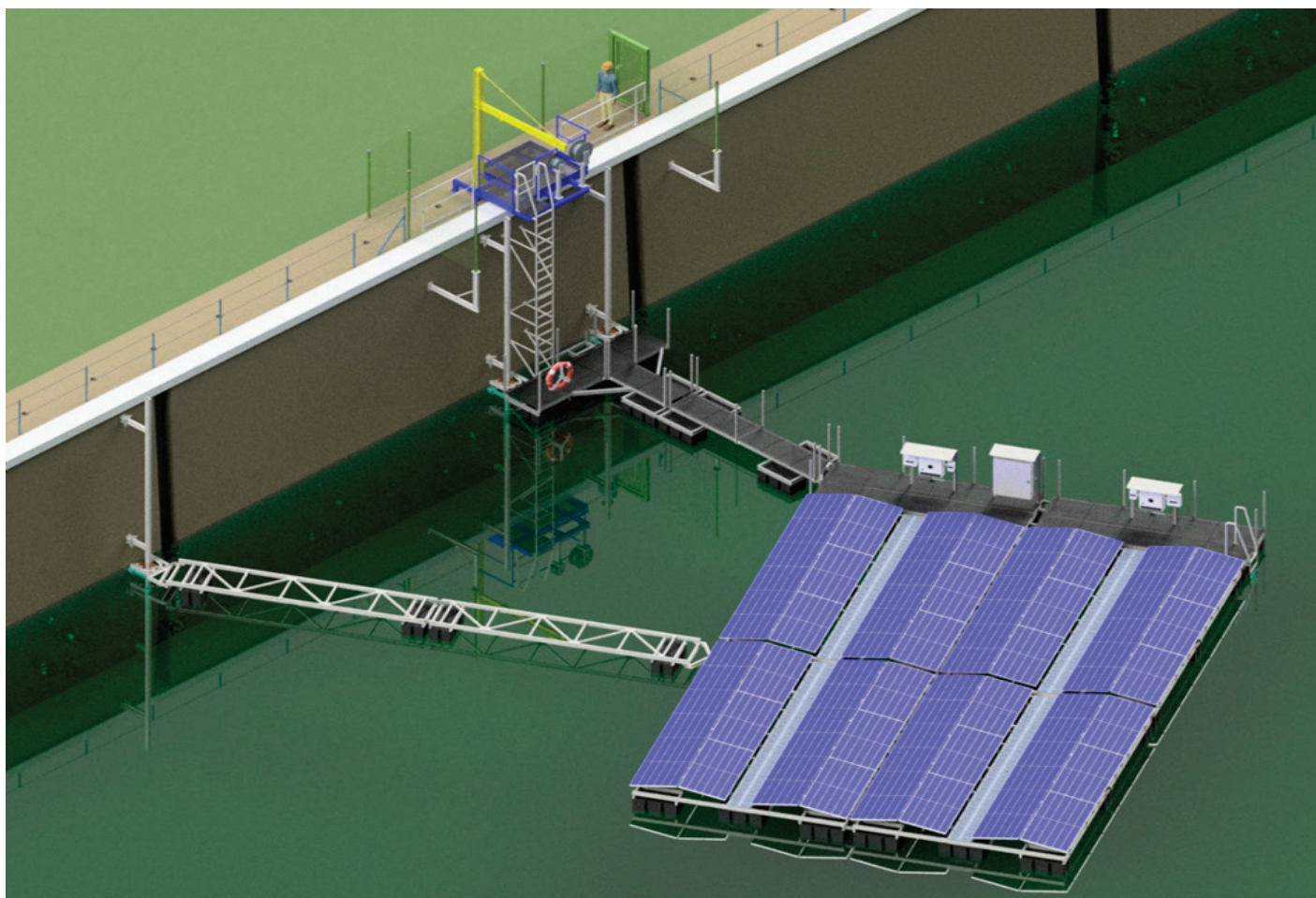
Plovoucí fotovoltaická elektrárna Štěchovice 22 kWp byla určena pro otestování mechanických vlastností plovoucích částí a kotvení přes problematické zimní období, viz obrázek č. 2. Statická část se skládá z oplocení, přístupové plošiny se zábradlím, přístupovým žebříkem a kotevními sloupy. Plovoucí část je složena z přístupové lávky a čtyř základních modulů nesoucích fotovoltaické panely.

2.1 | STATICKÁ ČÁST

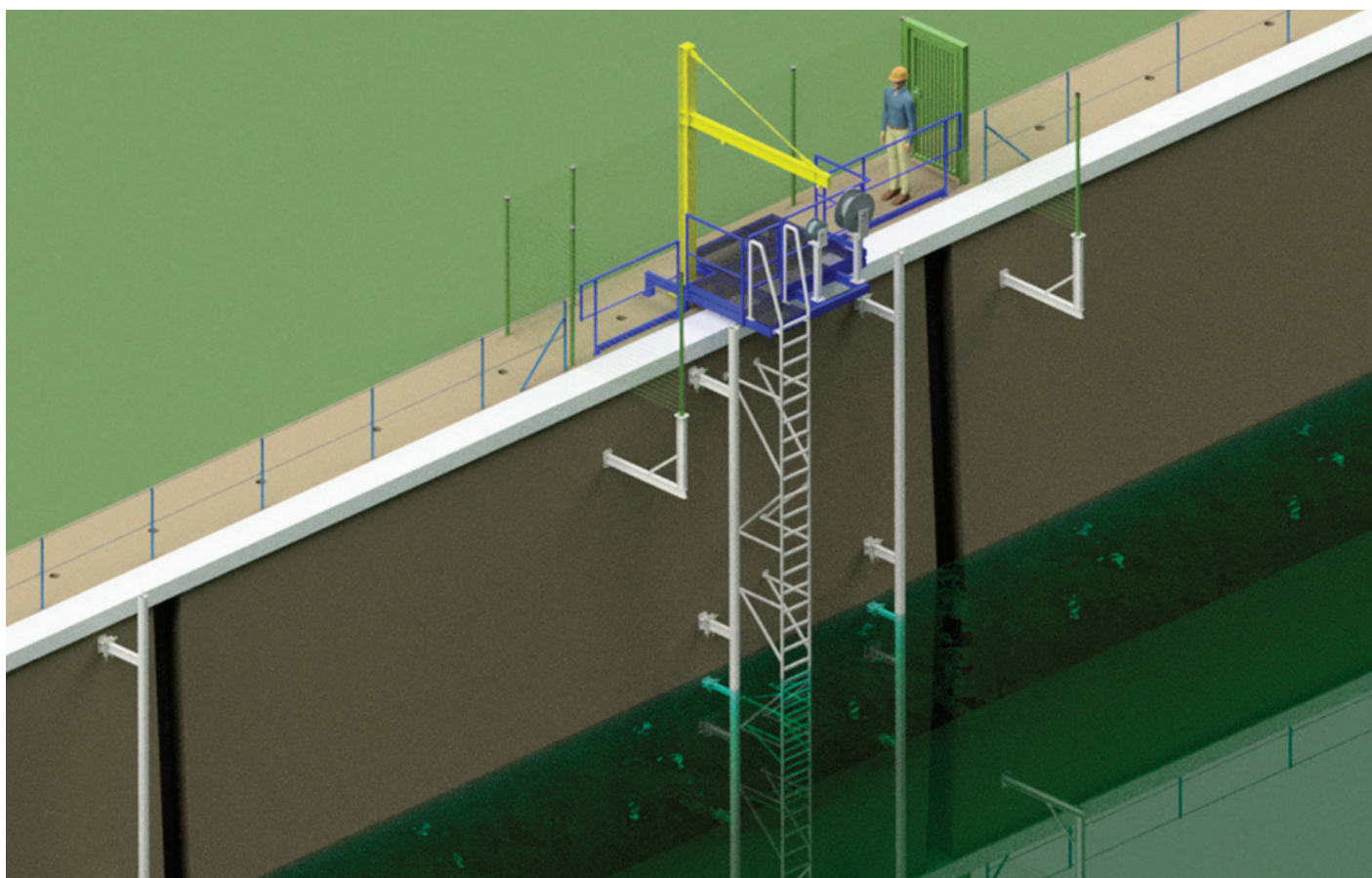
Statickou část zařízení tvoří část pevně spojená s tělesem hráze vodní nádrže, viz obrázek č. 3. Tato část slouží k přístupu k plovoucí části a k vedení plovoucí



Obr. 1: Zobrazení vodní plochy v katastru nemovitostí. [2]



Obr. 2: 3D model plovoucí fotovoltaické elektrárny 22 kWp. (Zdroj: archiv autorů)



Obr. 3: 3D model statické části zařízení. (Zdroj: archiv autorů)

části zařízení ve svislém směru v závislosti na kolísání vodní hladiny.

Plošina ukotvená do betonového tělesa hráze zajišťuje přístup k žebříku, který vede svisle podél stěny hráze až ke spodní poloze plovoucí části. Celá plocha uvnitř bezpečnostního oplocení je proti pádu zajištěna kolektivní ochranou proti pádu z výšky (zábradlím). Přístup na žebřík je opatřen samozavírací brankou s bezpečnostním el. zámkem na čipovou kartu. Jištění osob při výstupu/sestupu po žebříku zajišťuje zachycovač pádu umístěný na pevné konzole.

Trojice kotevních sloupů slouží k zajištění plovoucí části v dané poloze a k jejímu vedení ve svislém směru při kolísání hladiny v rozmezí cca 9 m. Sloupy jsou ukotveny do stěny hráze.

Plošina je tvořena ocelovou konstrukcí, která je kotvena do betonového tělesa hráze. Plošina je opatřena pochozím roštem s protiskluzovou úpravou. Konstrukce plošiny přesahuje přes hranu hráze nad vodní hladinu, čímž vyrovnává mírný sklon stěny hráze a žebřík tak může být ve svislé poloze. Ocelová konstrukce umožňuje po demontáži roštu přístup k drenáži hráze. Na plošině jsou umístěny kabelové bubny elektročásti fotovoltaické elektrárny.

Zábradlí tvořené z ocelových trubek je ukotveno do tělesa hráze a je instalováno v celém rozsahu manipulační plochy uvnitř bezpečnostního oplocení. Přerušeno je pouze v místě výstupu na žebřík, kde jeho funkci nahrazuje samozavírací branka. Za

samozavírací brankou je podél stěny hráze spuštěn přístupový žebřík, který je kotven do stěny hráze a zajišťuje přístup na přístupovou lávku plovoucí části při libovolné výšce hladiny v celém rozsahu jejího kolísání.

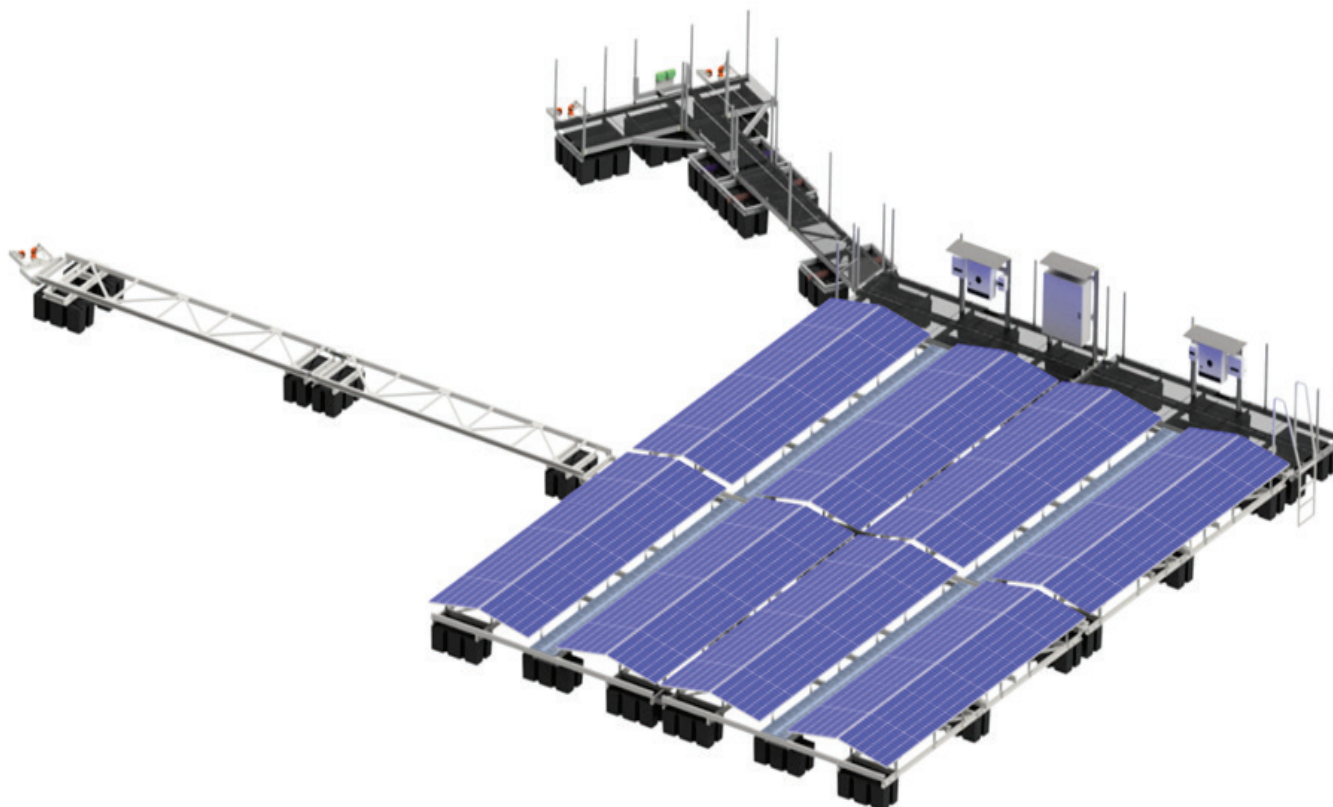
Konstrukce trvale umístěná ve vodě je z nerezové oceli nebo žárově zinkována.

2.2 | PLOVOUCÍ ČÁST

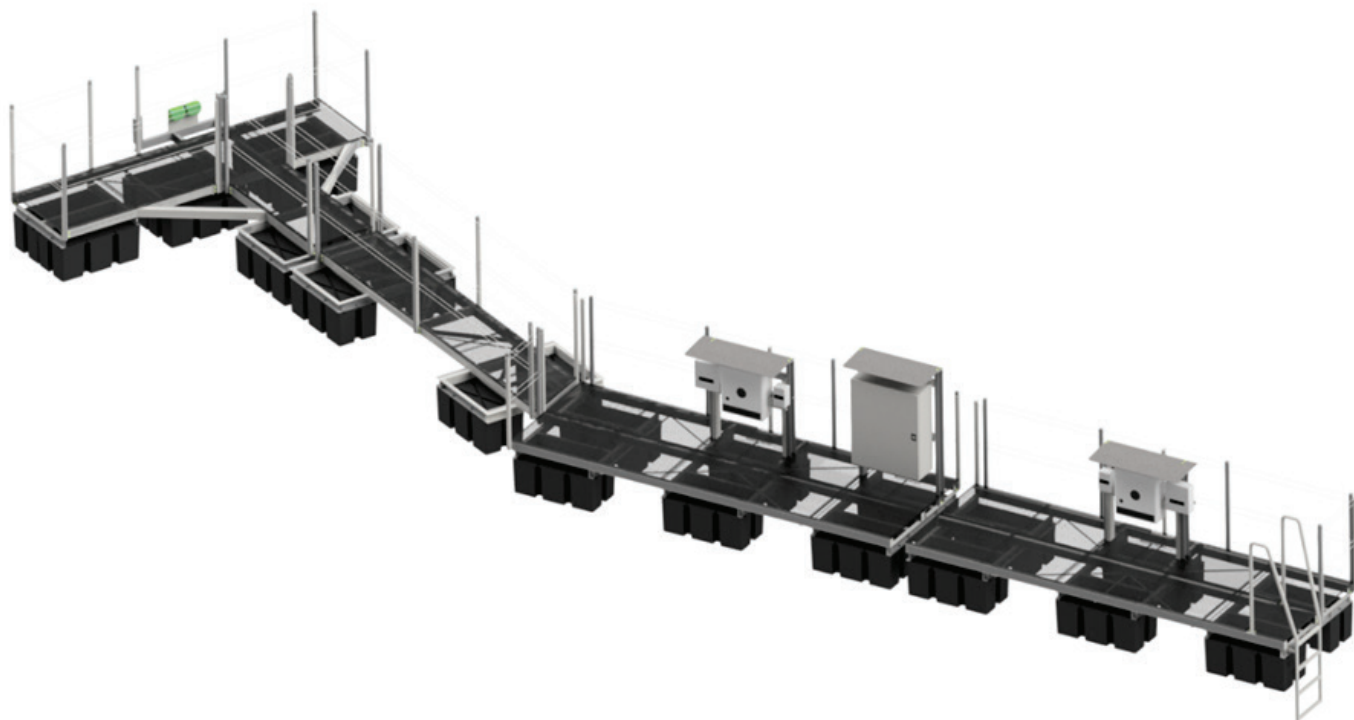
Plovoucí část není pevně spojena se zemí a pohybuje se ve svislém směru podle kolísání vodní hladiny po kotevních sloupech, viz obrázek č. 4.

Fotovoltaické panelové pole se skládá z jednotlivých plovoucích modulů, které jsou vzájemně propojeny a na hladině tvoří jeden celek. Kloubové propojení je navrženo tak, že umožňuje vzájemný relativní pohyb jednotlivých modulů vůči sobě, který je vyvolán především pohybem osob po lávkách a větrem.

Základními prvky každého plovoucího modulu jsou lehká ocelová konstrukce z tenkostěnných ocelových profilů a plastové plováky s výtlakem 200 kg.ks⁻¹. Ocelová konstrukce je vždy v provedení vyhovujícím účelu daného plovoucího modulu a je pomocí šroubů připojena na plastové plováky, jejichž počet a umístění odpovídá zatížení daného plovoucího modulu. Pro výškové vyrovnání jednotlivých modulů budou některé plováky částečně zaplněny vodou.



Obr. 4: 3D model plovoucí části zařízení. (Zdroj: archiv autorů)



Obr. 5: 3D model přístupové lávky. (Zdroj: archiv autorů)

Podle účelu jsou plovoucí moduly rozděleny na moduly nesoucí fotovoltaické panely, moduly sloužící pro přístup osob a moduly kotvicí.

Fotovoltaický plovoucí modul je základním prvkem plovoucí části a slouží k umístění fotovoltaických panelů. Na jednom plovoucím modulu je umístěno 12 panelů a obslužná lávka. Lávka je uprostřed modulu a po obou stranách jsou umístěny panely se sklonem 10° ve stříškovém uspořádání s orientací východ/západ. Ocelová konstrukce ve tvaru obdélníku o rozměrech cca $4,7 \times 6,4$ m je usazena na devíti plastových plovácích. Uprostřed ocelové konstrukce je usazena obslužná lávka tvořená segmenty z recyklovaného plastu. Použité fotovoltaické panely jsou rozměrové řady 2×1 m v orientaci na šířku (landscape). Každý z panelů je podepřen ve čtyřech bodech na delší straně hliníkového rámu panelu v rozpětí $1,2$ m.

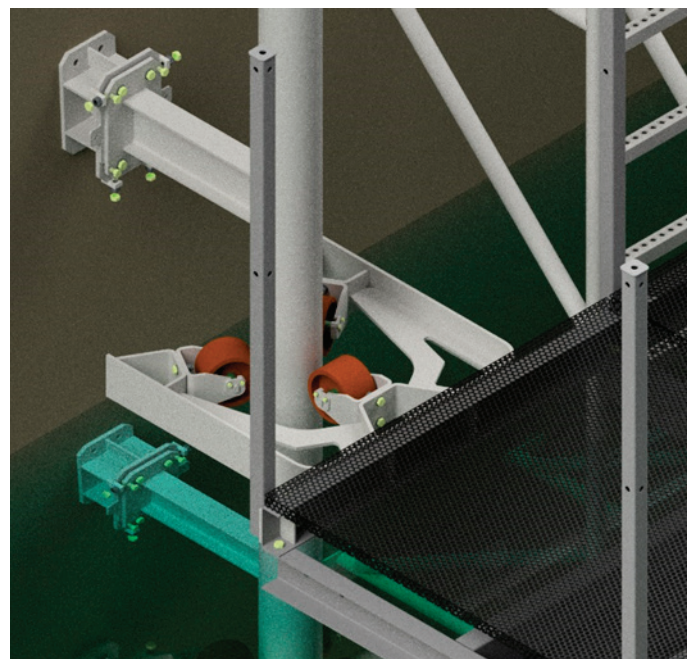
Přístupová lávka je tvořena několika samostatnými plovoucími moduly zajišťujícími přístup obsluhy od přístupového žebříku u stěny hráze k fotovoltaickým plovoucím modulům, viz obrázek č. 5. Lávka je současně využita k umístění střídačů, rozváděče a k vedení kabelových tras. Na konci lávky je umístěn krátký žebřík sloužící k nouzovému výlezu z vody. Ocelové konstrukce mají tvary respektující orientaci fotovoltaického panelového pole vůči světovým stranám. Plastové plováky jsou v úzké části lávky vyneseny do boku mimo lávku, aby byla zajištěna lepší stabilita na vodní hladině.

Propojení plovoucích modulů zajišťují kloubové propojky, které umožňují vzájemný relativní pohyb jednotlivých modulů vůči sobě. To je nezbytné z dů-

vodu plošného provedení ocelových konstrukcí (rámmů) jednotlivých modulů, které nesmí být ohybově namáhány od sousedních modulů.

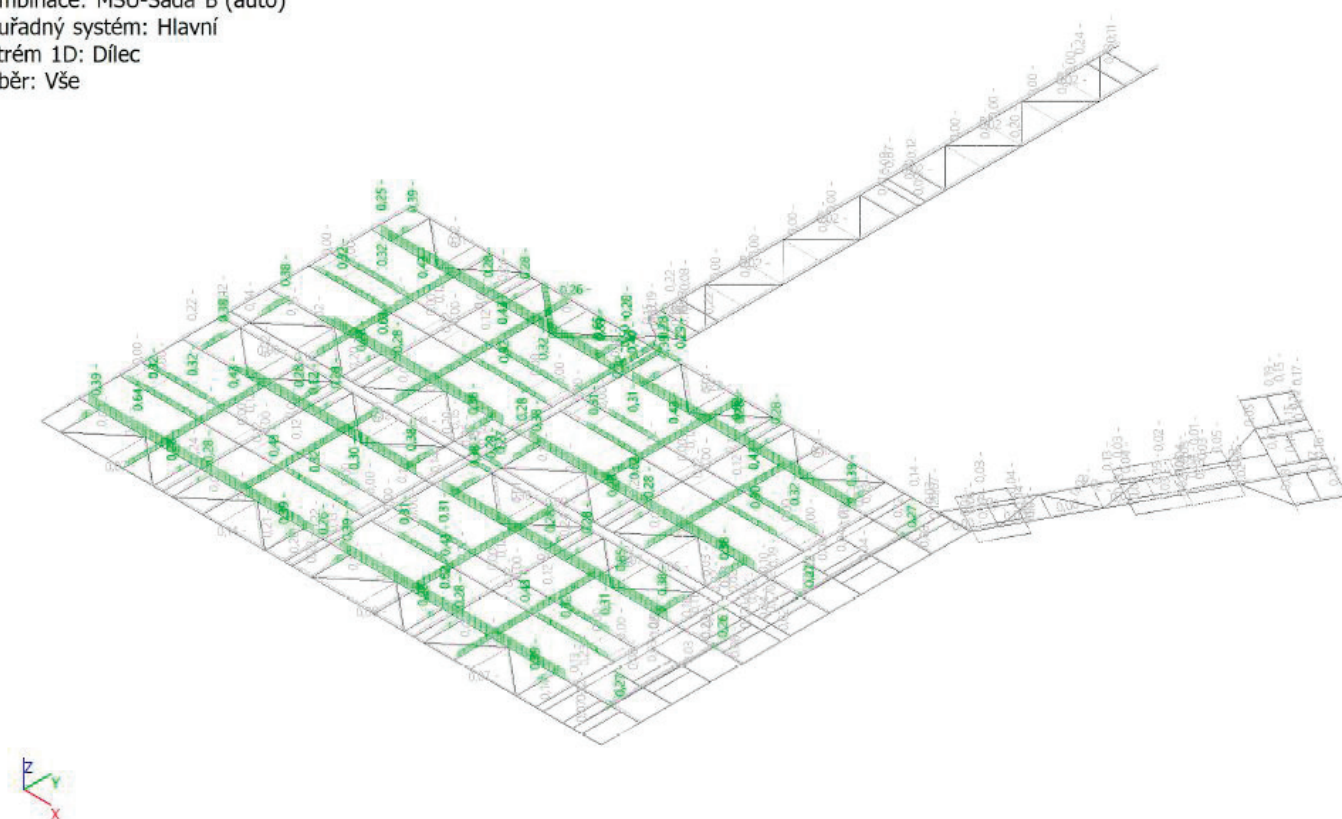
K zajištění plynulého pohybu fotovoltaického pole při kolísání vodní hladiny a k přenesení zatěžujících sil do kotvení slouží vodící kladky, viz obrázek č. 6. Ty jsou po trojicích součástí rámu, ve kterém jsou vzájemně pootočené o 120° .

Celá ocelová konstrukce plovoucí části je žárově zinkována. Žebřík k nouzovému výlezu z vody je zhotoven z nerezové oceli.

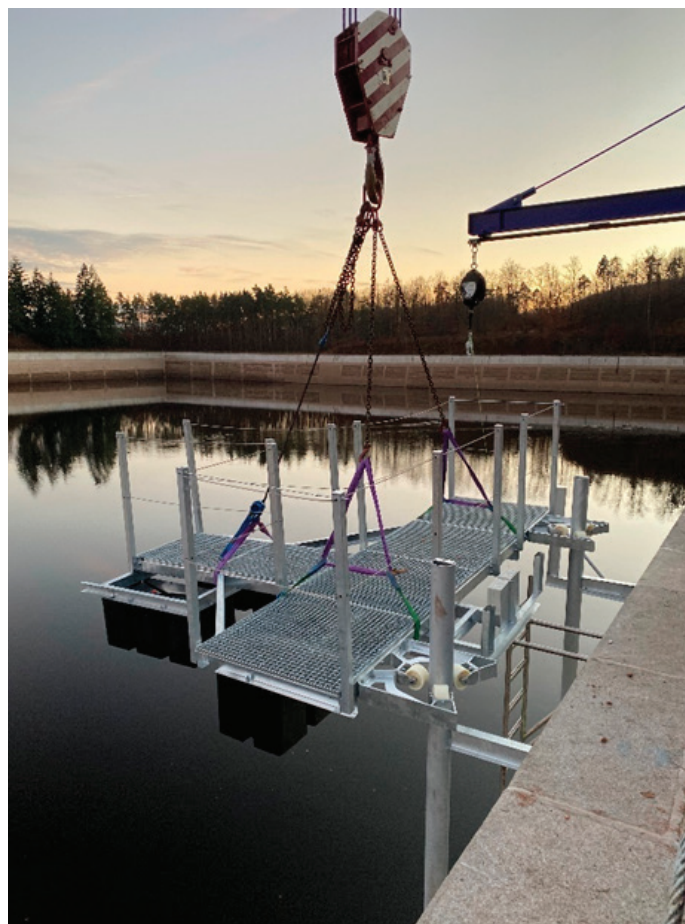


Obr. 6: 3D model vodících kladek. (Zdroj: archiv autorů)

Hodnoty: **UC_{celkový}**
 Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ-Sada B (auto)
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Dílec
 Výběr: Vše



Obr. 7: Lineární výpočet mezních stavů únosnosti OK. (Zdroj: archiv autorů)



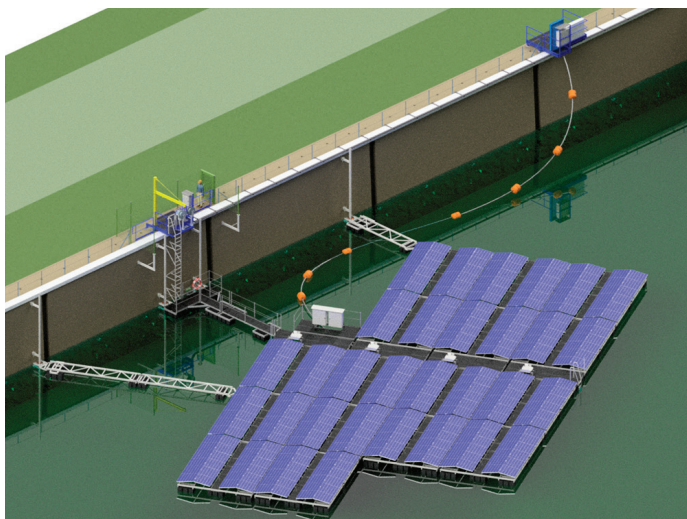
Obr. 8: Montáž zařízení. (Foto: archiv autorů)



Obr. 9: Autorský dozor při instalaci. (Foto: archiv autorů)



Obr. 10: Zařízení při maximální pracovní hladině přečerpávací elektrárny. (Foto: archiv autorů)



Obr. 11: 3D model rozšíření zařízení na výkon 87 kWp. (Zdroj: archiv autorů)

3 | ODZKOUŠENÍ FUNKČNOSTI ZAŘÍZENÍ

Během návrhu plovoucí fotovoltaické elektrárny byly provedeny analytické a statické výpočty a pevnostní výpočty metodou konečných prvků, kterými bylo ověřováno teoretické chování plovoucí fotovoltaické elektrárny při nejhorších zátěžových stavech jak celku, tak i jednotlivých dílčích částí FVE, viz obrázek č. 7.

Během vlastní instalace, viz obrázky č. 8 a 9, a po instalaci celku plovoucí fotovoltaické elektrárny bylo provedeno praktické ověření analytických, statických výpočtů a pevnostních výpočtů realizovaných v návrhové části.

Zkoušky prokázaly správnost teoretického chování plovoucí fotovoltaické elektrárny na vodní hladině jako celku, tak i jednotlivých dílčích komponent, viz obrázek č. 10.

4 | ROZŠÍŘENÍ ZAŘÍZENÍ

Ve druhé polovině roku 2022 bude realizována druhá etapa, ve které bude stávající plovoucí fotovoltaická elektrárna rozšířena na instalovaný výkon 87 kWp ve fotovoltaických panelech se specifikovaným ročním výnosem $950,52 \text{ kWh.kWp}^{-1}$ a připojena do distribuční sítě elektrické energie, viz obrázek č. 11. Do realizace projektové přípravy rozšíření plovoucí elektrárny jsou promítány a zapracovány praktické poznatky získané z validace pilotního projektu.

LITERATURA

[1] Plovoucí fotovoltaické elektrárny se ve světě prudce rozvíjejí, velké plány má i Česko. Portál Solární novinky.cz je nejčtenější odborné online medium, věnující se tématům: Fotovoltaické panely, měniče, mikro střídače FVE [online]. Copyright © 2009-2022 [cit. 26.04.2022]. Dostupné z: Plovoucí fotovoltaické elektrárny se ve světě prudce rozvíjejí, velké plány má i Česko — Solární Novinky (solarninovinky.cz).

[2] Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. Copyright © 2022 ČÚZK, všechna práva vyhrazena [cit. 26.04.2022]. Dostupné z: <https://nahlizenidokn.cuzk.cz/>.