



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za gradbeništvo in geodezijo*

Katedra za preizkušanje materialov in konstrukcij

IZZIVI pri uporabi FRP za ojačitve konstrukcij in pri konstrukcijah v celoti iz FRP: kje in kdaj bo zgrajen prvi premostitveni objekt v Sloveniji?

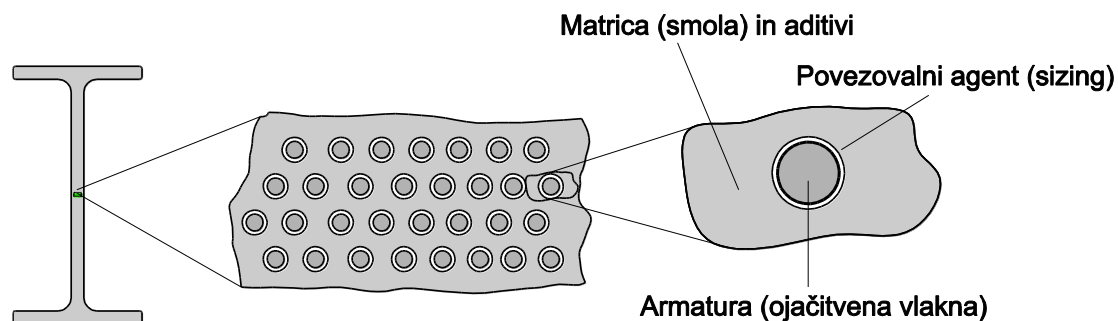
asist. dr. David Antolinc
david.Antolinc@fgg.uni-lj.si

GZS – Uporaba ojačenih polimernih kompozitov v gradbeništvu krožnega gospodarstva
Ljubljana, 12.10.2021

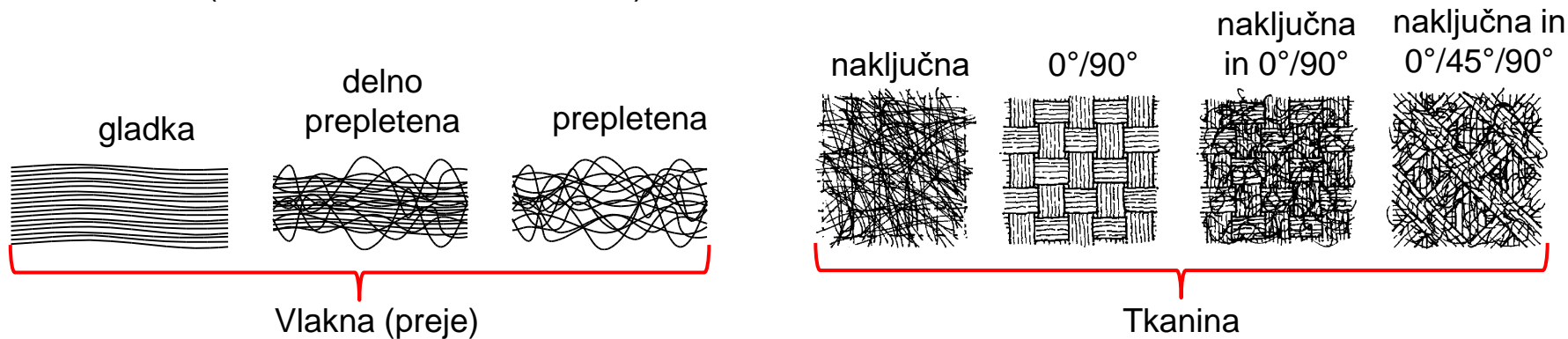
Armirana plastika - kompozit (Fiber Reinforced Polymer – FRP)

Osnovni sestavni deli armiranih plastik so:

- Armatura (35-75%),
- matrica (PET, VE, EP smole),
- aditivi (gorenje, UV),
- povezovalni agent (sizing),
- polnilo.



Armatura (Karbon, Aramid, E-steklo):



Umetni kompoziti – FRP materiali v gradbeništvu

Utrditev konstrukcij
(običajna uporaba v gradbeništvu)

AB konstrukcije
zidane,
tudi lesene

Popravila

Utrditve

Odprava poškodb
in zaščita pred
propadanjem

Zvišanje nosilnosti, podaljšanje življenjske
dobe, adaptacija za nove namembnosti
konstrukcije, **povečanje potresne
odpornosti**

Konstrukcije v celoti ali
hibridni izvedbi iz FRP
(*“posebni”* nameni)

Armature in kabli za prednapenjanje,
optimizirani tankostenski nosilci,
paličja,
sendvič paneli

Ojačitve konstrukcij - običajna uporaba

Armaturne palice



<http://www.sefindia.org/forum/viewtopic.php?p=66821>

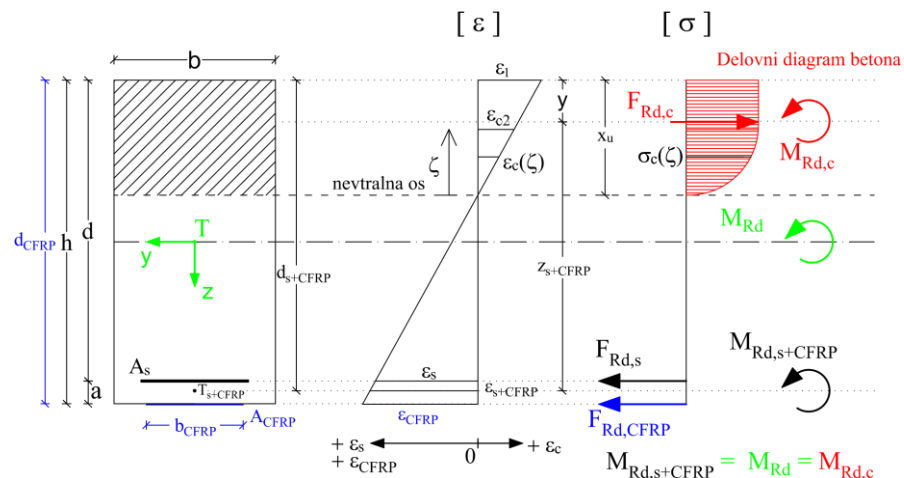
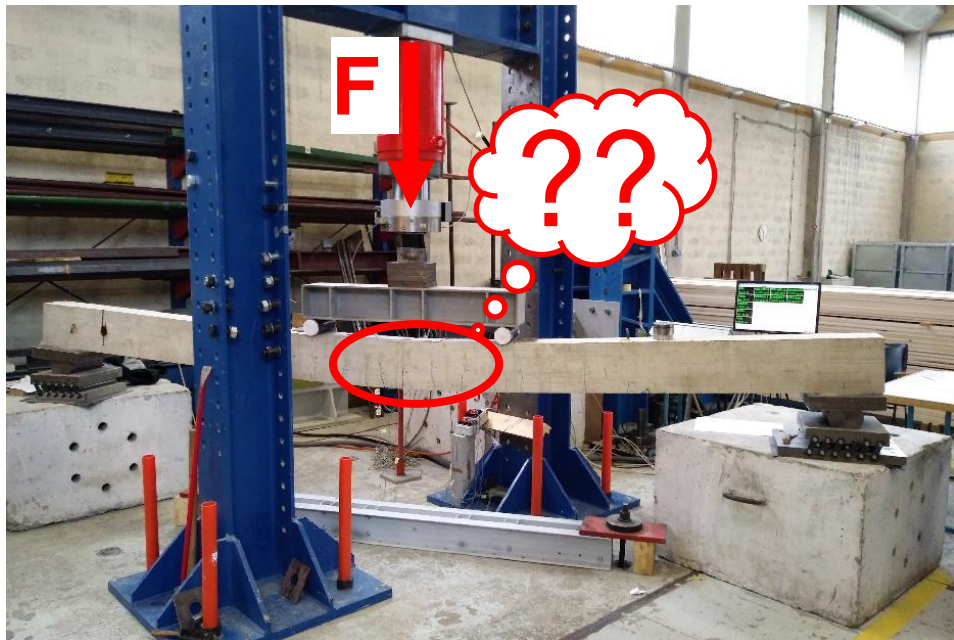
Ojačitve upogibno obremenjenih elementov



Strižne ojačitve



Izzivi pri ojačitvah in utrditvah



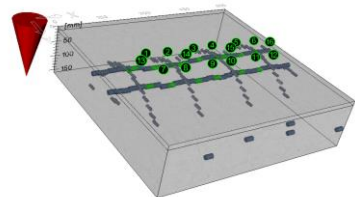
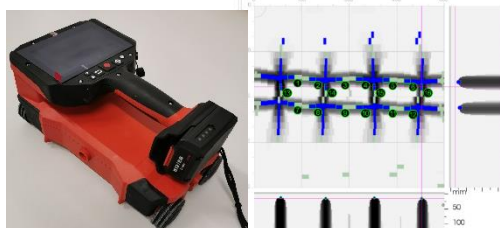
- Dimenzioniranje ojačitvene lamele

(M. Klun, Utrditev upogibno obremenjenega AB nosilca s kompozitnimi CFRP lamelami, Magistrska naloga)

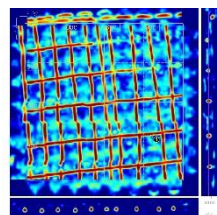
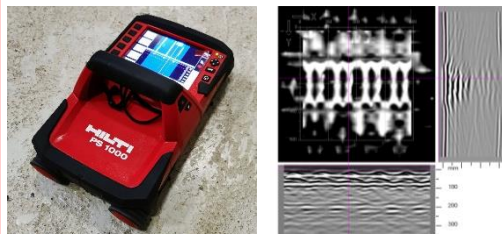
- SIKA programsko orodje za dimenzioniranje kompozitnih ojačitev SikaCarbodur, upoštevanje zahtev proizvajalcev

Pozicija in količina armature

Detektor kovin – Ferroskan
(Magnetno polje – indukcija)



Georadar
(radarska tehnologija)



Kvaliteta betona

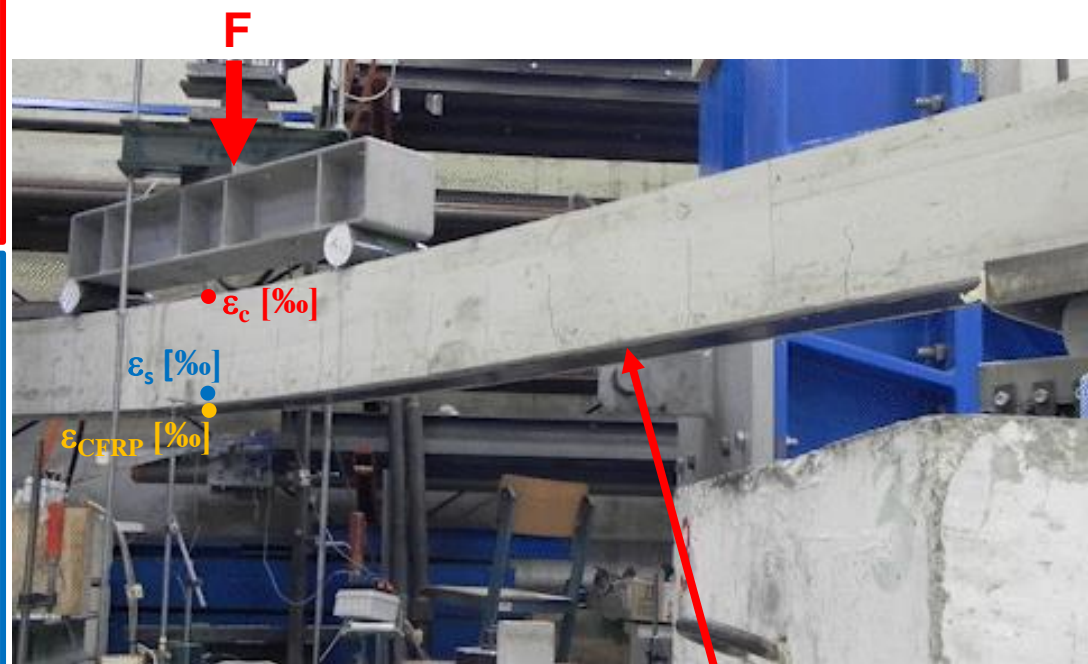
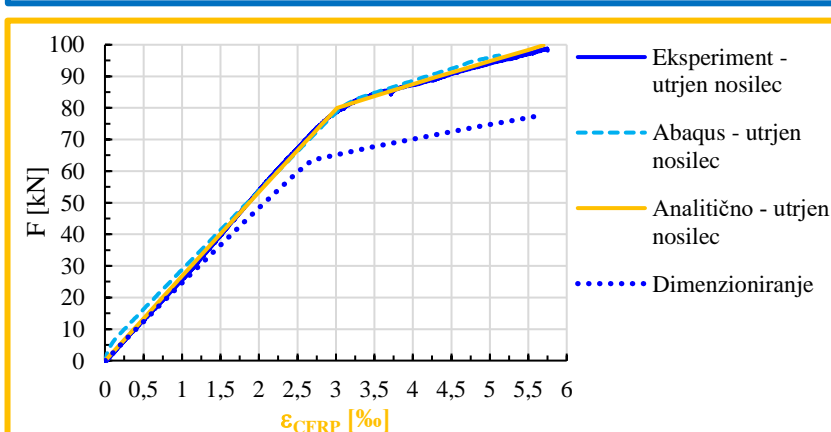
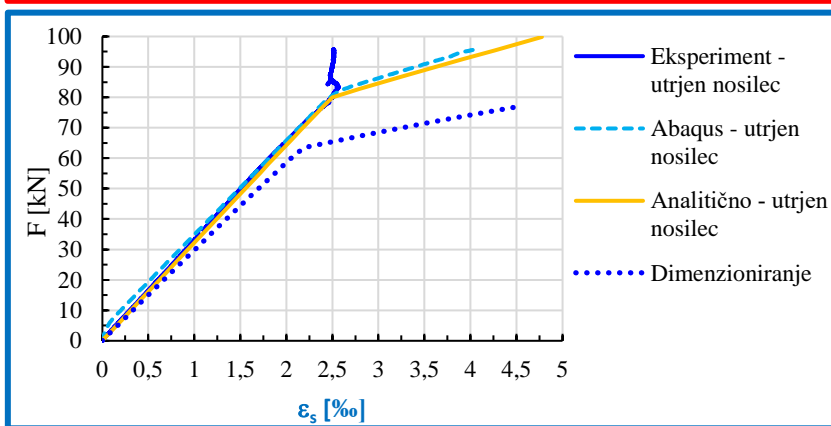
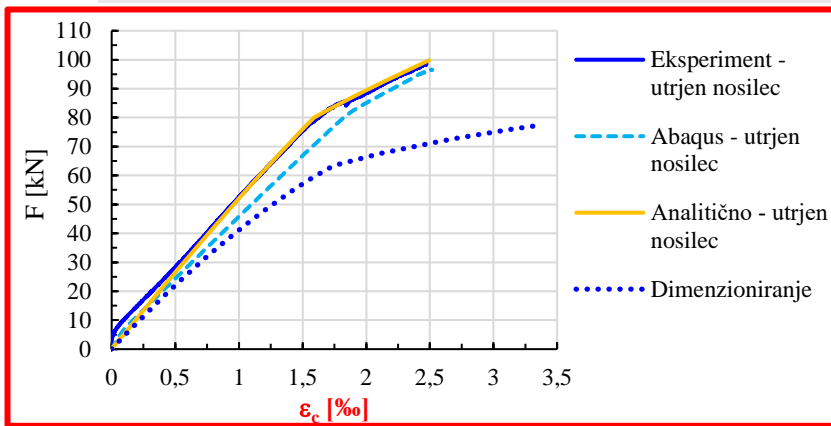
Sklerometer



Ultrazvok



Izzivi pri ojačitvah in utrditvah



CFRP ojačitvena lamela

Konstrukcije v celoti iz FRP ali hibridni izvedbi

**Palični most, Pontresina,
l=2x12,5m, 1997)**



**Most za pešce, Aberfeldy,
l=64m, 1991)**



USA vojska, Lockheed F-117 Nighthawk



<http://polygoncomposites.com/bearings-master/bearings-applications/aerospace/>

Nosilni okvir kolesa



<https://www.saldenbikes.com/wili-er-velodromo-carbon-frameset.html>

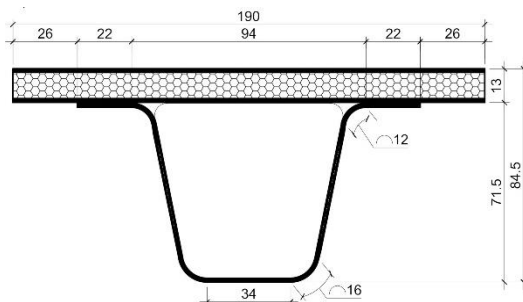
Keller, T.; Theodorou, N. A.; Vassilopoulos, A. P.; De Castro, J. Effect of Natural Weathering on Durability of Pultruded Glass Fiber-Reinforced Bridge and Building Structures. Journal of Composites for Construction. 2016

https://www.researchgate.net/publication/242529075_Structural_Dynamics_4th_Year_Structural_Engineering

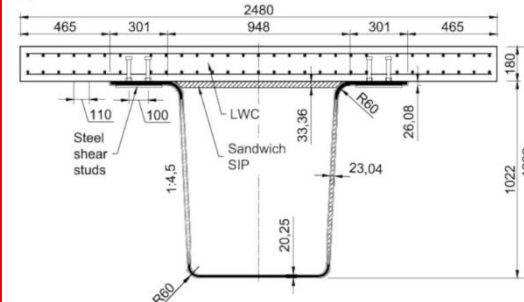
V celoti FRP konstrukcija (Mostostal, Poljska)



Hibridna mostna konstrukcija (Mostostal, Poljska, 2016)



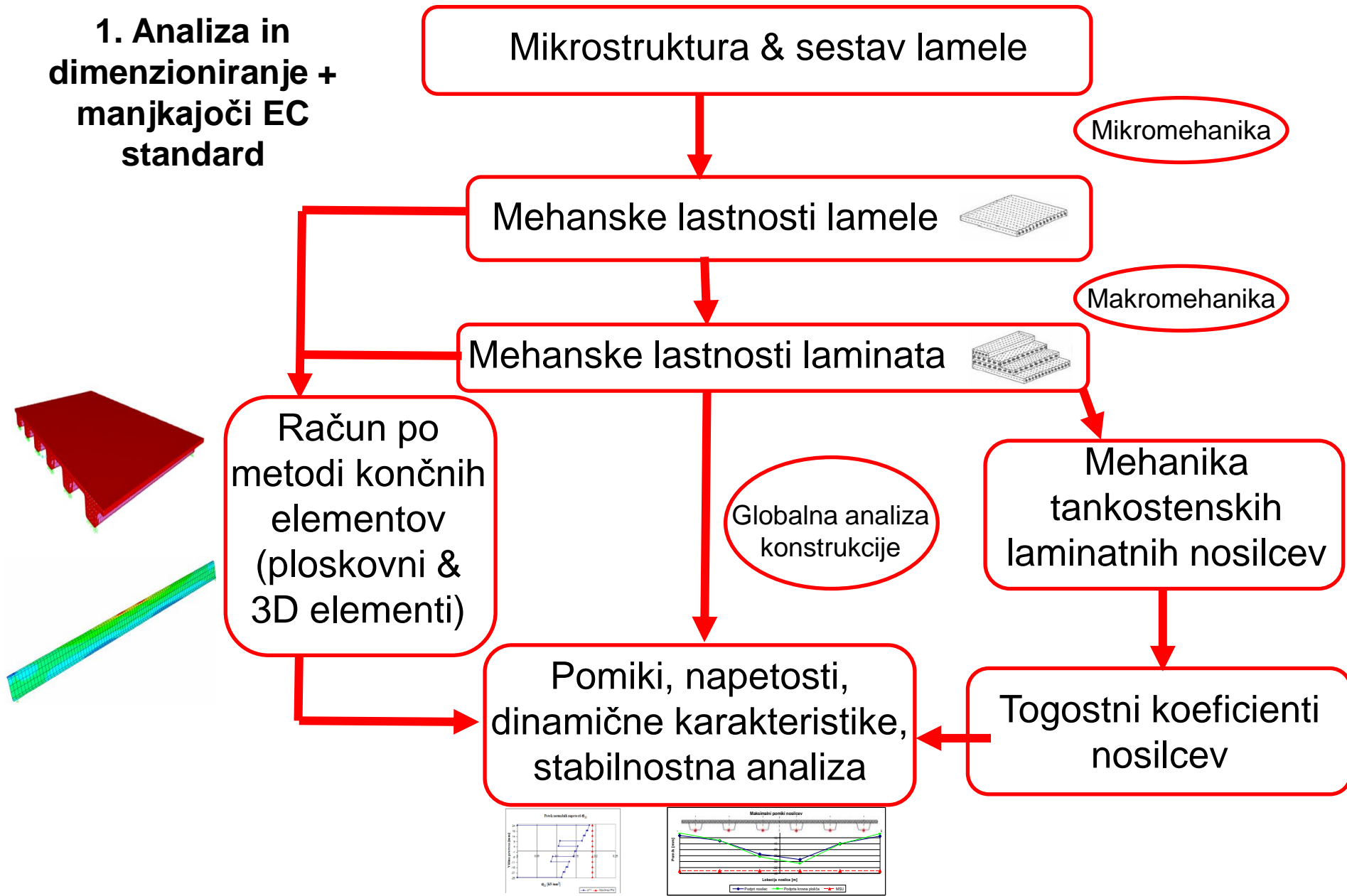
Siwowski, T.; Rajchel, M.; Wlasak, L. Experimental study on static and dynamic performance of a novel GFRP bridge girder. Composite Structures. 2021.



Siwowski, T.; Rajchel, M. Structural performance of a hybrid FRP composite – lightweight concrete bridge girder. Composites Part B. 2019.

Izzivi pri konstrukcijah v celoti iz FRP

1. Analiza in dimenzioniranje + manjkajoči EC standard



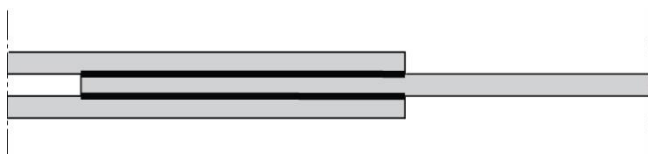
2. Spoji – koncept običajno podoben spojem jeklenih konstrukcij

Pri spojih je potrebno upoštevati določene omejitve:

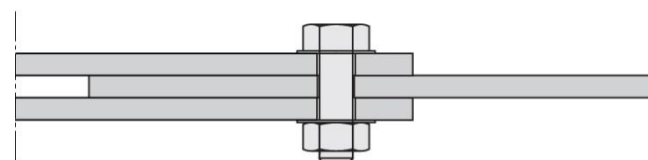
- Nehomogenost materiala
- Običajno lamelirani osnovni elementi
- Ortotropnost materiala
- Krhko obnašanje osnovnega materiala
- **Nepoznavanje porušnih mehanizmov**
- **Manjkajoč EC za FRP**

2. Spoji – vrste spojev

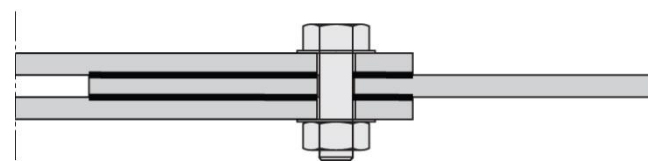
- lepljeni spoji (lepljeno)

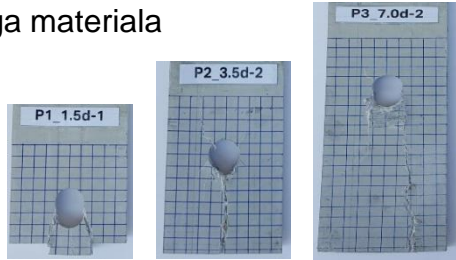


- mehanski spoji (vijačen spoj)



- kombinirani spoji (lepljen in vijačen spoj)



Prednosti posameznih spojev	Problemi - IZZIVI
<ul style="list-style-type: none"> - dosežemo veliko trdnost - malo kosov - možnost korozije je minimizirana - gladka zunanja površina - večja togost 	<ul style="list-style-type: none"> - Nefleksibilnost za kasnejša popravila in spremembe - Hipna porušitev - Zelo odvisna od izkušenosti in kompetenc izvajalca - Posebna pozornost za pripravo površine - Potrebna kontrola z NDT tehnikami
<ul style="list-style-type: none"> - ne rabi posebne obdelave površine - lahko se razstavi - enostaven pregled - duktilno obnašanje po 1. poškodbi 	<ul style="list-style-type: none"> - Koncentracije napetosti -> problem krhkega materiala 
<ul style="list-style-type: none"> - vijaki zagotavljajo podporo in pritisk med sestavljanjem in strjevanjem lepila - vijaki preprečujejo rast razpok 	<ul style="list-style-type: none"> - Nefleksibilnost za kasnejša popravila in spremembe - Posebna pozornost za pripravo površine

4. Manjkajoči EC standardi, nezaupanje in pomanjkanje izkušenj

Obstoječe smernice, ki obravnavajo proizvodnjo in pravila za projektiranje FRP konstrukcij in elementov:

- EUROCOMP – Structural Design of Polymer Composites (Design code and handbook)
- CUR 96, BD90/05, DIBt, CNR-DT 205/2007, ACMA, DIN 13121, BÜV
- JRC poročilo delovne skupine: **Prospect for new guidance in the design of FRP (Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes)**
- Smernice posameznih proizvajalcev (Fiberline Design Manual, Strongwell, ...)

4. Propadanje materiala

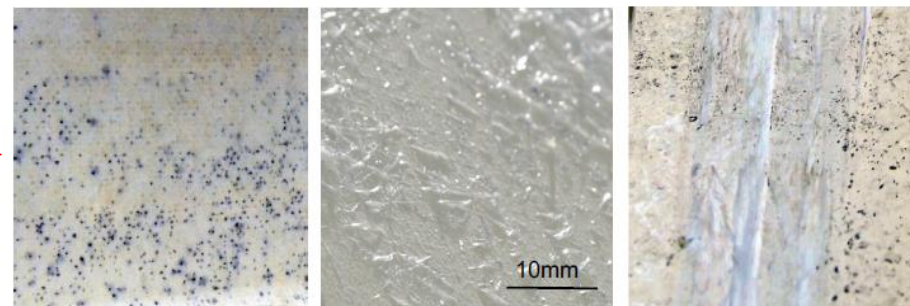
Problem zaradi **UV žarkov** → razpadanje matrice (cvetenje vlaken)

Dodatno pospeši propadanje tudi zmrzovanje in odtajanje

Rešitev → **nanos zaščitne prevleke (“gel coat” → posebna poliesterska matrika) na površino elementov**



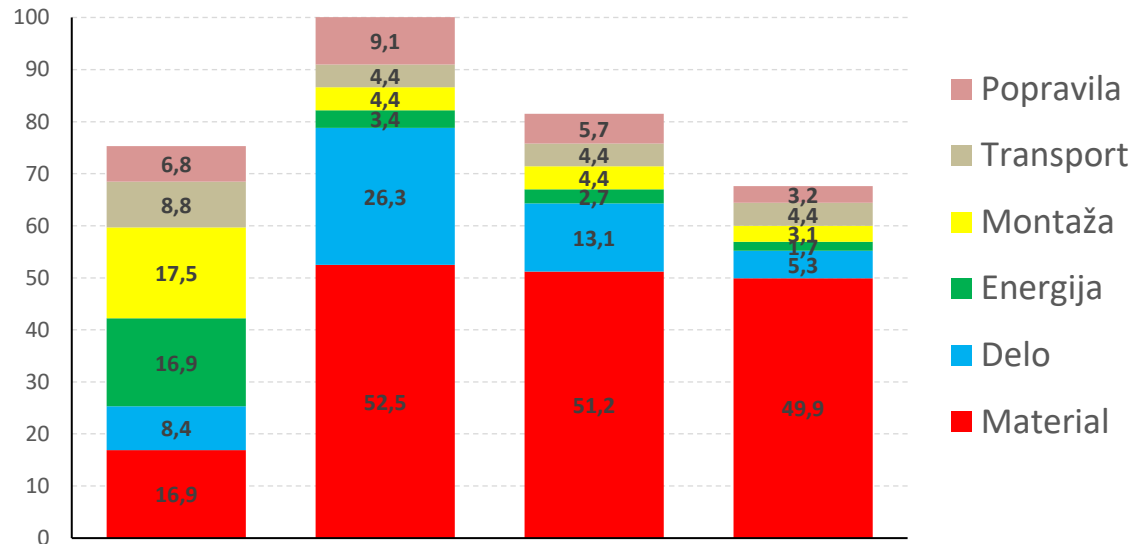
Cvetenje vlaken



3. Cena

Primerjava stroškov za izdelavo AB in FRP mostne konstrukcije (Projekt Trans IND, 2012)

(Vir: Poneta, P. New industrialized construction process for transport infrastructures based on composite materials. Flyer for Trans-IND Project workshop in Ljubljana. Mostostal. 2012. https://gi-zrmk.si/novice/9/vabilo_na_delavnico/ (accessed on 7.10.2021))



Beton

FRP - ročna izdelava

FRP - avtomatiziran proces

FRP po Trans - IND projektu

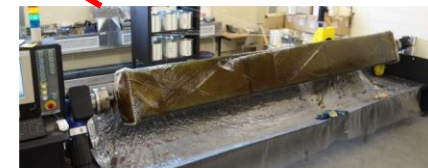
Com-bridge, razpon 21 m, Poljska 2016



(Vir: Siwowski, T., Rajchel, M., Kaleta, D., Wlasak, L. The First Polish Road Bridge Made of FRP Composites. Structural Engineering International. 2018.)



Siwowski, T.; Rajchel, M. Structural performance of a hybrid FRP composite – lightweight concrete bridge girder. Composites Part B. 2019.



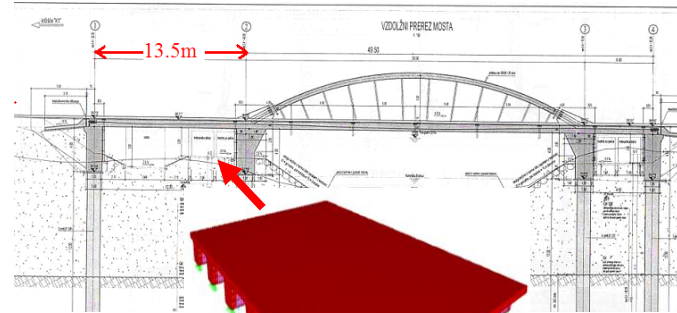
(Vir: Soliman, A. M. A. Flexural behaviour of rectangular FRP tubes fully or partially filled with reinforced concrete. Predstavitev teme doktorata. 2016.)

Prihodnost FRP

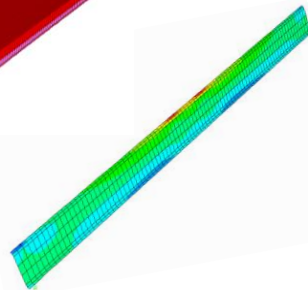
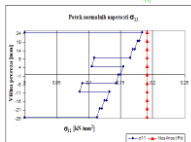
Kje in kdaj bo zgrajen prvi premostitveni objekt iz FRP v Sloveniji?

HP-Future bridge – EU project, 2008

Razvoj ultra lahkega in stroškovno učinkovitega koncepta za mostove



Diploma: D. Antolinc, Analiza obnašanja mostu iz armirane plastike”



Most za pešce, London, FRP omogoča 300m razpona brez vmesnih podpor (2013)



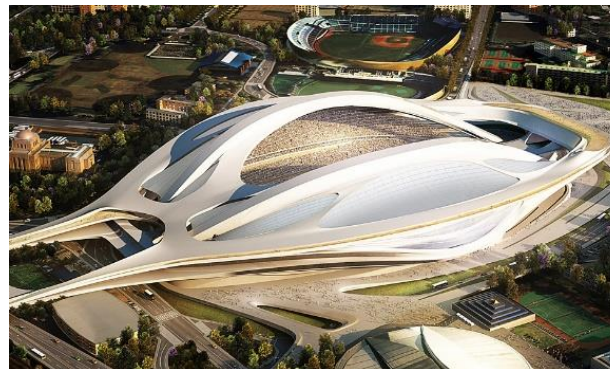
J. Shave, Parson Brinckerhoff, Network Group for Composites in Construction, Bridge Owners Forum 2013 (ppt. presentation)

DMAA, H.O.M.E. House 2021



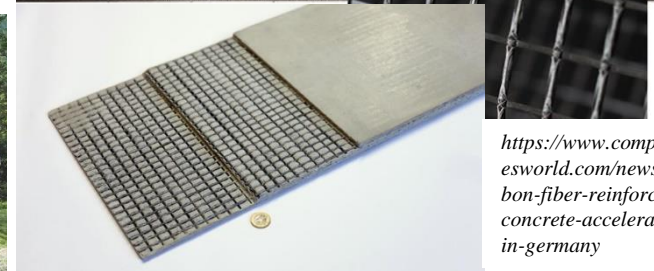
<https://www.dmaa.at/work/h-o-m-e-house-2021-1>

Natečaj za Japonski nacionalni stadion (2012)



<https://www.archdaily.com/294133/zaha-hadid-wins-japan-national-stadium-competition>

CUBE hiša – TU Dresden, campus (Concrete Carbon Composite C³)



<https://www.compositesworld.com/news/carbon-fiber-reinforced-concrete-accelerates-in-germany>

Mariničev most, Škocjanske jame (2010)



<https://www.ponting.si/si/projekti/marincev-most-67.html>