

Pod pietonal peste Seeblickweg – sistem compozit lemn–beton armat cu carbon

Armătură inovatoare din plase de carbon

Pod peste Seeblickweg (Brücke über den Seeblickweg)

Pod nou cu structură compozită lemn–beton armat cu carbon (HBV)

Rezumat

Podurile pietonale convenționale cu tabliere din beton armat cu oțel sunt vulnerabile la coroziune, necesită rosturi de dilatație și aparate de reazem și impun intervenții de întreținere pe termen lung.

Noul pod pietonal și pentru biciclete peste Seeblickweg, din Stuttgart, demonstrează o abordare structurală alternativă: un pod integral cu structură compozită lemn–beton armat cu carbon (HBV), cu o placă compozită de 290 mm grosime, care include armătură nemetalică din carbon.

Prin eliminarea oțelului din zonele critice solicitate la tracțiune și integrarea plaselor din carbon în placă, proiectul obține durabilitate îmbunătățită, deschideri controlate ale fisurilor ($\leq 0,15$ mm) și întreținere redusă pe întregul ciclu de viață.

Structura de 69,2 m lungime, finalizată în februarie 2025, reprezintă una dintre primele utilizări la scară mare ale armăturii din carbon într-un sistem de pod HBV și a fost recunoscută internațional la IABSE Awards 2025, la categoria Inovare.

Contextul proiectului

Context

Podul Seeblickweg a fost construit pentru a asigura o legătură sigură, fără bariere, pentru pietoni și bicicliști, peste un drum important din Stuttgart-Neugereut.

Obiectivul proiectării nu a fost doar înlocuirea unei traversări existente, ci realizarea unei soluții de infrastructură durabile, cu întreținere redusă și utilizare eficientă a materialelor, în acord cu obiectivele moderne de sustenabilitate.

În locul unei suprastructuri convenționale din beton armat cu oțel, echipa de proiectare a ales un concept hibrid care combină:

- Grinzi principale din lemn.
- Placă compozită din beton armat.
- Armătură nemetalică din carbon.

Proiectul integrează inovarea în ingineria structurală, selecția sustenabilă a materialelor și o strategie de durabilitate pe termen lung într-un obiectiv de infrastructură urbană finanțat public.

Localizare

Structură: pod pietonal și pentru biciclete peste Seeblickweg.

Oraș: Stuttgart, Germania.

Cartier: Stuttgart-Neugereut.

Beneficiar: Landeshauptstadt Stuttgart – Tiefbauamt.

Geometrie:

- Lungime totală: 69,20 m.
- Succesiunea deschiderilor: 30,23 m – 7,86 m – 29,92 m.
- Lățimea podului: 4,00 m.

- Lățime utilă: 3,20 m.

Podul face parte din rețeaua de mobilitate urbană a orașului Stuttgart și asigură separarea în siguranță a traficului pietonal și de biciclete de traficul auto.

Domeniu și obiective

Domeniu:

- Proiectarea și construcția unui nou pod integral HBV.
- Realizarea unei plăci din beton armat cu carbon.
- Integrarea conlucrării compozite dintre lemn și beton.
- Integrarea monitorizării structurale.
- Finalizare și punere în funcțiune (aprilie 2023 – februarie 2025).

Obiective:

- Eliminarea armăturii din oțel sensibile la coroziune în zonele expuse.
- Limitarea deschiderii fisurilor la $\leq 0,15$ mm.
- Minimizarea cerințelor de întreținere.
- Asigurarea robusteții structurale pentru o durată de exploatare îndelungată.
- Optimizarea emisiilor de CO₂ încorporate ale suprastructurii.
- Demonstrarea posibilității utilizării la scară mare a armăturii din carbon în ingineria podurilor.

Metode și materiale

1. Sistem structural

Podul este proiectat ca sistem compozit integral HBV cu trei deschideri, alcătuit din:

- Grinzi principale longitudinale din lemn.
- Placă compozită din beton armat, de 290 mm grosime.
- Reazem intermediar central în formă de V.
- Legătură monolită între suprastructură și infrastructură.

Configurația integrală elimină aparatele de reazem și rosturile de dilatație, reducând cerințele de inspecție și întreținere.

2. Sistem de armare cu carbon

Armătura din carbon a fost integrată în placa de beton în zonele critice solicitate la tracțiune.

Sistem de plase din carbon de la HITEXBAU GmbH (Typ 1 – fascicule de fibre de carbon 48K):

Parametri principali:

- Rezistență la tracțiune longitudinală: 2956 N/mm².
- Rezistență la tracțiune transversală: 2871 N/mm².
- Alungire: 1,4%.
- Pasul plasei: 45 × 33/25 mm.

Cantitate totală aproximativă de armătură din carbon instalată: ~1,5 t.

Elementele suplimentare de armare nemetalică includ conectori din carbon pentru forfecare și bare de armătură GFRP în anumite zone.

3. Sistem de beton

- Grosimea plăcii structurale: 290 mm.
- Limitarea deschiderii fisurilor: $\leq 0,15$ mm.
- Suprafață pietonală expusă direct (fără membrană suplimentară de hidroizolație).
- Amestec optimizat cu granulație fină în zonele armate.

Armătura din carbon permite reducerea formării fisurilor și elimină riscul de coroziune provocată de cloruri.

Execuție

Calendar:

- Începerea construcției: aprilie 2023.
- Finalizare: februarie 2025.
- Deschidere oficială: 12 februarie 2025.

Responsabilitate inginerească:

- Proiectare structurală și planificare tehnică integrală: Harrer Ingenieure GmbH.
- Colaborare științifică: Technische Hochschule Augsburg.

Lucrările au inclus prefabricarea grinzilor din lemn, instalarea armăturii plăcii compozite, integrarea sistemelor de monitorizare și montajul etapizat pe șantier.

Proiectul a utilizat planificare asistată de BIM și coordonare detaliată în timpul execuției.

Provocări și soluții

Conlucrare compozită

Provocare: transmiterea fiabilă a forfecării între lemn și beton, în condiții de exploatare și la starea-limită ultimă (ULS).

Soluție: utilizarea armăturii din carbon pentru forfecare și detalieri compozită optimizată.

Durabilitate

Provocare: suprafața expusă a podului pietonal este supusă intemperiilor și sărurilor de dezghețare.

Soluție: armătură nemetalică din carbon și deschidere controlată a fisurilor $\leq 0,15$ mm.

Eficiență structurală

Provocare: realizarea unor deschideri zvelte de peste 30 m, menținând rigiditatea.

Soluție: sistem integral cu reazem central în V și comportare compozită HBV.

Sustenabilitate

Emisii de carbon încorporate ale suprastructurii: ≈ 95 kg CO₂-eq/m².

Reducere estimată față de o suprastructură convențională din beton armat cu oțel (comparație cu un scenariu ingineresc de referință): reducere de ≈ 35 –45% (model comparativ bazat pe ipoteze).

Rezultate

Performanță structurală

- Pod compozit integral de 69,2 m.
- Placă structurală de 290 mm.
- Armătură fără coroziune în zonele critice.
- Raport eficient între rigiditate și greutate.

Performanță de mediu

- Aproximativ 95 kg CO₂-eq/m² (suprastructură).
- Necesari redus de întreținere pe întregul ciclu de viață.
- Eliminarea reparațiilor provocate de coroziunea oțelului.

Impactul inovării

- Utilizare la scară mare a armăturii din carbon într-un sistem de pod HBV.
- Structură monitorizată în cadrul cercetării.
- Recunoaștere la IABSE Awards 2025 (categoria Inovare).

Podul este în funcțiune din februarie 2025 și servește drept proiect de referință pentru sistemele hibride de poduri compozite lemn–carbon.

Concluzie

Podul Seeblickweg din Stuttgart exemplifică tranziția către infrastructură cu utilizare eficientă a materialelor, rezistentă la coroziune și cu necesari redus de întreținere.

Combinând structura principală din lemn cu tehnologia plăcii compozite din beton armat cu carbon, proiectul demonstrează cum sistemele hibride pot crește durabilitatea și, în același timp, pot reduce emisiile de carbon încorporate și costurile pe întregul ciclu de viață.

Integrarea armăturii nemetalice într-o placă structurală de 290 mm confirmă viabilitatea structurală a armăturii din carbon în podurile pietonale cu deschideri mari și stabilește un reper pentru viitoarele utilizări ale podurilor HBV.

Ilustrații din documentul original

