



ŽILINSKÁ UNIVERZITA
V ŽILINE

Interreg



Spolufinancovaný
Európskou úniou



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Slovensko – Česko

STRATÉGIA ZELENŠIEHO STAVEBNÍCTVA V CEZHRANIČNOM REGIÓNE ROZŠÍRENÝ ABSTRAKT



OBSAH

1	Úvod	3
1.1	Environmentálna otázka a projekt EFESTAZ	3
1.2	Súčasný stav stavebníctva v SR a ČR a príležitosti pre jeho environmentálne zefektívnenie..	4
1.3	Uhlíková stopa v stavbách	5
2	Dřevo v přeshraničním regionu a jeho potenciál pro stavebnictví	6
2.1	Dřevní hmota - její kvalita a potenciál v rámci regionu	6
2.2	Materiály na bázi dřeva a environmentální aspekty	6
2.3	Konstrukce, požární bezpečnost a ochrana	7
3	Efektivně využívání stavebního odpadu a vybraných průmyselných odpadových produktů v nosných konstrukcích a líniových stavbách.....	9
3.1	Stavební odpad v rámci regionu a předpoklady pro vhodné zpracování odpadu ve stavebnictví.....	9
3.2	Definice, vznik, specifika a možnosti nakládání se stavebním a průmyslovým odpadem v rámci regionu	9
3.3	Dominantní druhotné suroviny a vedlejší produkty, které je možné využívat ve stavebnictví	10
3.4	Základní soubor možných variant využití odpadů ve stavebnictví	10
3.5	Příklady použití stavebního odpadu v liniových stavbách	11
4	Využívání moderných stavebních materiálů	12
4.1	Prezentovanie moderných materiálov pre nosné konštrukcie (UHPC, HSS, GFRP, CFRP...) .	12
4.2	Praktické aplikácie moderných materiálov v rámci nosných konštrukcií	12
4.3	Efektivně spájanie tradičných stavebných materiálov s modernými	13
4.4	Zosilňovanie konštrukčných prvkov modernými stavebnými materiálmi.....	13
4.5	Shrnutí kapitoly	13
5	Opätovné vyžitie konštrukcií alebo ich častí	14
5.1	Problematika opätovného využitia prvkov	14
5.2	Aktuálne prekážky opätovného využitia	14
5.3	Návrh demontovateľných stavieb.....	14
5.4	Modulárna výstavba	15
5.5	Využitie vyzískaných prvkov.....	15
5.6	Adaptívne využitie konštrukcií.....	15
5.7	Premiestnenie konštrukcie	16
5.8	Pokračovanie v eksploatacii	16
6	Predlžovanie životnosti existujúcich konštrukcií	17
6.1	Terminológia	17
6.2	Stanovenie zvyškovej životnosti konštrukcie	17
6.3	Trvanlivosť stavieb	18
6.4	Predĺženie životnosti existujúcich stavieb	18

1 ÚVOD

1.1 ENVIRONMENTÁLNA OTÁZKA A PROJEKT EFESTAZ

Problémy, ktoré so sebou prináša klimatická zmena a zhoršenie environmentálneho prostredia ako dôsledok ľudských aktivít predovšetkým v priemysle, doprave, stavebníctve a energetike, sú pre Slovenskú a Českú republiku podľa údajov Európskej komisie (*Climate Action*), ako aj na základe údajov svetovo uznávaných environmentálnych organizácií (*Greenpeace*), či energetických agentúr ako IEA (*International Energy Agency*) nasledovné:

- vysoké teploty a extrémne výkyvy teplôt;
- sucho a s tým súvisiace požiare;
- znížená dostupnosť pitnej vody;
- povodne a supercelárne búrky;
- zníženie biodiverzity;
- znehodnotenie poľnohospodárskej pôdy a jej erózia;
- zvýšenie sociálnych hrozieb (zdravie obyvateľstva, zvýšená záťaž na sociálne slabšie skupiny a jednotlivcov v dôsledku zdražovania potravín, zníženia životného komfortu, atď.);
- nepriaznivý vplyv na hospodárstvo a ekonomiku (ohrozenie poľnohospodárskeho sektora, lesného hospodárstva, podnikov a infraštruktúry v dôsledku mimoriadnych udalostí, ohrozenie cestovného ruchu, zníženie produkcie vodných elektrární...).

Na tieto negatívne a stále častejšie sa opakujúce javy, primárne zapríčinené ľudskou aktivitou, reagujú obidva naše štáty implementáciou *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* a *Strategie adaptácie SR na zmenu klímy*. Obidva dokumenty sú vypracované v zhode s *Adaptačnou stratégiou EÚ* a nedávajú si za cieľ iba prispôbiť sa klimatickým zmenám, ale podporujú aj silnú synergiu adaptácie s aktívnymi mitigačnými opatreniami (znižovanie emisií skleníkových plynov, zvýšenie recyklácie odpadov...). Skleníkové plyny (predovšetkým CO₂, ale aj CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆ a NF₃) predstavujú hlavný faktor vyvolávajúci a zároveň akcelerujúci zmeny v našej klíme. Spolu s tvorbou tuhého a

kvapalného odpadu tak predstavujú najväčšiu záťaž pre životné prostredie. Hlavným producentom týchto plynov je podľa *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2021 and inventory report 2023* sektor dopravy (približne 28%) a výroba elektriny a tepla (približne 27%). V prípade stavebníctva ako samostatného sektora dosahuje jeho podiel na tvorbe skleníkových plynov hodnotu až do 12% (*European commission - Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*). Druhým najväčším environmentálnym problémom je tvorba odpadu. Na základe údajov Eurostatu je za produkciu odpadu zodpovedné predovšetkým stavebníctvo, a to s podielom až 38,4% a nasleduje ho baníctvo a dobývanie nerastných surovín s 22,7%. Spolu produkujú tieto odvetvia až 61,1% odpadu. Táto informácia je mimoriadne dôležitá, pretože Európska komisia odhaduje, že opatrenia zamerané na zvýšenie materiálovej efektívnosti a recykláciu stavebného odpadu môžu viesť k zníženiu emisií skleníkových plynov z výroby stavebných materiálov a výrobkov až o 80 %, najmä v dôsledku obmedzenia spotreby primárnych surovín.

Na vyššie uvedené skutočnosti má ambíciu reagovať aj cezhraničný projekt **EFESTAZ** (*Environmentálne efektívne stavebníctvo ako nástroj pre zmiernenie klimatickej zmeny v cezhraničnom regióne*). Cieľom projektu je napomôcť prevencii environmentálnych rizík a zvrátiť negatívne trendy súvisiace so zmenou klímy, a to zavádzaním inovatívnych environmentálnych prístupov a princípov cirkulárnej ekonomiky v sektore stavebníctva s akcentom na miestne reálie SK-CZ pohraničia. Hlavným výstupom projektu je vytvorenie spoločnej stratégie pre zelenšie stavebníctvo cezhraničného regiónu, spolu s ďalšími aktivitami vývojového, propagačného a edukačného charakteru a s vytváraním silných cezhraničných väzieb. Cieľom stratégie je, na základe realizácie vlastných inžiniersko-vývojových aktivít a prispôbením a aplikáciou vo vyspelom

zahraničí používaných prístupov, pripraviť dokument, ktorý by ovplyvňoval procesy súvisiace s výstavbou (zámer, projekt, príprava, realizácia, užívanie a správa) v tej miere, aby bol znížený ich environmentálny dopad na ekosystém (zníženie produkcie CO₂ a odpadu, zníženie energetickej náročnosti, predĺženie životnosti, atď.). Projekt je realizovaný dvojicou významných vedecko-výskumných a vzdelávacích organizácií v cezhraničnom regióne, pričom využíva ich dlhoročné know-how a rozsiahle skúsenosti založené na prirodzenej špecializácii zapojených pracovísk - stavebné materiály (VUT v Brne) a stavebné konštrukcie a mosty (Žilinská univerzita v Žiline).

Základné informácie o projekte:

- Akronym: EFESTAZ
- ITMS kód projektu: 403201DPP8
- Operačný program: Interreg VI-A Slovensko - Česko
- Programové obdobie: 2021-2027
- Termín realizácie projektu: júl 2024 - jún 2026
- Celkové oprávnené výdavky projektu: 546 672,23 EUR
- Výška nenávratného finančného príspevku: 477 044,21 EUR
- Projekt podporený v rámci výzvy: INTERREG SK-CZ / 2023 / 1_Klíma

1.2 SÚČASNÝ STAV STAVEBNÍCTVA V SR A ČR A PRÍLEŽITOSTI PRE JEHO ENVIRONMENTÁLNE ZEFEKTÍVNENIE

Od roku 2020 vykazuje v nominálnom vyjadrení (ovplyvnenom cenovým vývojom) objem stavebnej produkcie z ekonomického pohľadu na Slovensku a v Českej republike (podľa údajov Českého statistického úradu a Slovenského štatistického úradu) neustály nárast (v roku 2025 to bolo približne 8,4 mld. EUR a približne 760 mld. Kč). Napriek neistej dobe je možné hlavne v strednodobom a dlhodobom horizonte očakávať rastúci trend tohto odvetvia. Zároveň sa pohraničné kraje s veľkosťou svojej stavebnej produkcie radia k tým nadpriemerným v rámci obidvoch našich štátov. Na druhej strane je prihraničný región SK-CZ výrazne environmentálne zaťažený: baníctvo a hutnícky priemysel na Ostravsku spolu s množstvom vedľajších produktov, veľké priemyselné centrá na Považí a na Brnensku, hustá sieť železničnej aj cestnej dopravy s mimoriadne vyťaženými traťovými aj diaľničnými úsekmi, kde sa koncentruje významná časť vnútroštátnej aj medzinárodnej dopravy využívajúcej početné hraničné prechody.

Spôsoby, ako zmierňovať zmenu klímy opatreniami v sektore stavebníctva a zároveň napomáhať jeho dekarbonizácii a vyššej efektívnosti (z pohľadu materiálového aj energetického) je možné v rámci cezhraničného regiónu definovať v piatich kľúčových bodoch nasledovne:

- širšie využívanie potenciálu dreva ako obnoviteľného prírodného surovinného zdroja;
- využívanie moderných (efektívnejších) stavebných materiálov;
- efektívne využívanie stavebného odpadu a vybraných priemyselných odpadových produktov;
- predlžovanie životnosti existujúcich stavieb;
- opätovné použitie celých konštrukčných prvkov po uplynutí ich životnosti v novej výstavbe.

Projekt EFESTAZ tieto jednotlivé praktické opatrenia bližšie analyzuje po teoretickej aj experimentálnej stránke, inovuje, nachádza spôsoby ich jednoduchšej a efektívnej aplikácie a vzájomného prepájania do eko-inovačných reťazcov a následne ich transformuje do praktickej stratégie pre zelenšie stavebníctvo v cezhraničnom regióne.

1.3 UHLÍKOVÁ STOPA V STAVBÁCH

Za jeden z hlavných merateľných ukazovateľov environmentálneho dopadu stavieb je považovaná ich uhlíková stopa. Tá je zároveň viazaná na celý životný cyklus stavby (*Whole Life Carbon - WLC*). Tu rozoznávame tzv. zabudovaný uhlík (*embodied carbon*) a prevádzkový uhlík (*operational carbon*). Zabudovaný uhlík v sebe obsahuje všetky emisie skleníkových plynov, ktoré vznikajú pri získavaní a výrobe stavebných materiálov, pri ich prevoze, výrobe konštrukčných prvkov a ich montáži, údržbe a prestavbe budov až po ich demoláciu a s ňou súvisiace činnosti. Prevádzkový uhlík zase v sebe zahŕňa všetky skleníkové plyny súvisiace s užívaním a celkovou prevádzkou budovy, najmä vykurovanie, vetranie, chladenie, ohrev vody a spotrebu elektriny. Emisie týchto skleníkových plynov (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6 , NF_3) sa vyjadrujú v tzv. CO_2 ekvivalente. CO_2 ekvivalent (ozn. CO_2e) predstavuje spôsob, ako prepočítať rôzne skleníkové plyny na jednu spoločnú metriku podľa ich vplyvu na globálne otepľovanie. Každý zo skleníkových plynov má totiž inú „silu“ a inú životnosť v atmosfére. Preto sa používa koncept potenciálu globálneho otepľovania (*Global Warming Potential - GWP*). Potenciál globálneho otepľovania je bezrozmerný faktor, ktorý umožňuje porovnať vplyv rôznych skleníkových plynov na globálne otepľovanie pomocou jednej škály, a to voči referenčnej hodnote CO_2 , kde $\text{GWP} = 1$, za definovaný časový horizont napr. 100 rokov. Emisie v CO_2e sa určujú ako súčin hmotnosti plynu a jeho GWP . Napríklad emisia 1 kg CH_4 predstavuje približne 28 kg CO_2e , t. j. jej účinok je ekvivalentný emisii 28 kg CO_2 pri časovom horizonte 100 rokov (GWP_{100}). Uhlíková stopa pri stavbách je priamo viazaná na jednotlivé fázy ich životného cyklu, ktoré sa štandardizovane hodnotia v rámci metodiky LCA (*Life Cycle Assessment*). V súlade s normou EN 15978 sa emisie skleníkových plynov rozdeľujú na fázy výroby (A1-A3), výstavby (A4-

A5), užívania (B1-B7), konca životnosti (C1-C4) a potenciálnych prínosov a zaťažení mimo hraníc systému (modul D). Tento prístup umožňuje systematicky kvantifikovať zabudovaný aj prevádzkový uhlík v jednotlivých etapách životného cyklu a identifikovať fázy s najväčším príspevkom k celkovej uhlíkovej stope stavby. Kvantifikácia emisií v jednotlivých fázach životného cyklu je založená na dátach o environmentálnych dopadoch stavebných materiálov, ktoré sú štandardizovane poskytované vo forme environmentálnych produktových deklarácií (*Environmental Product Declaration - EPD*). EPD predstavujú verifikované dokumenty spracované podľa normy EN 15804, ktoré obsahujú údaje o emisiách skleníkových plynov (vyjadrených v kg CO_2e) pre jednotlivé fázy životného cyklu produktu. Tieto údaje následne slúžia ako vstupy pre hodnotenie uhlíkovej stopy stavby na úrovni celého životného cyklu podľa EN 15978. Celková uhlíková stopa stavby sa pre účely porovnania najčastejšie vyjadruje v prepočte na jednotku podlahovej plochy (kg $\text{CO}_2\text{e}/\text{m}^2$ podlahovej plochy), čím sa zabezpečuje konzistentné hodnotenie budov rôznej veľkosti. V súčasnosti dochádza k postupnému znižovaniu relatívneho významu prevádzkového uhlíka v porovnaní so zabudovaným uhlíkom. Tento trend je spôsobený najmä sprísňovaním energetických požiadaviek na budovy, zvyšovaním energetickej efektívnosti a postupným prechodom na nízkouhlíkové zdroje energie. V dôsledku toho sa emisie spojené s prevádzkou budov znižujú, zatiaľ čo zabudovaný uhlík, viazaný na výrobu materiálov a realizáciu stavby, zostáva v čase realizácie prakticky fixný a tvorí čoraz väčší podiel na celkovej uhlíkovej stope. Tento posun zdôrazňuje potrebu zamerania sa na optimalizáciu materiálových riešení a konštrukčných systémov už v návrhovej fáze.

2 DŘEVO V PŘEŠHRANIČNÍM REGIONU A JEHO POTENCIÁL PRO STAVEBNICTVÍ

2.1 DŘEVNÍ HMOTA - JEJÍ KVALITA A POTENCIÁL V RÁMCI REGIONU

Dřevozpracující průmysl je v České republice i na Slovensku strategickým odvětvím, které efektivně využívá obnovitelné domácí suroviny. Jeho význam podtrhuje fakt, že v ČR tvoří přibližně **1,4 % celkové přidané hodnoty** národního hospodářství. Lesní pozemky v ČR pokrývají více než **2,68 milionu hektarů**, což představuje značný surovinový potenciál. I přes probíhající klimatické změny a kůrovcové kalamity zůstávají dominantní složkou jehličnaté dřeviny (67,7 %), přičemž největší zastoupení má smrk a borovice. Celková spotřeba surového dřeva pro průmyslové účely v roce 2023 činila **14,9 milionu m³**, což dokládá vysokou poptávku po této surovině jak ve stavebnictví, tak v energetice a papírenství. Podle údajů ČSÚ a MZe činil v roce 2023 celkový objem spotřeby dřeva 14 920 tis. m³.

Sektor se vyznačuje rozmanitou strukturou, od prvotního zpracování na pilách až po sofistikovanou výrobu dýh, desek a buničiny. V přeshraničním regionu (Moravskoslezský, Zlínský a Jihomoravský kraj) hrají klíčovou roli velcí průmysloví hráči, jako jsou **Mayr-Melnhof Holz Paskov** nebo **Lenzing Biocel Paskov**, které se zaměřují na velkokapacitní zpracování a export. Vedle těchto větších společností zde existuje i hustá síť malých a středních podniků, které zajišťují lokální dostupnost materiálů, pilařské služby a specializované činnosti, jako je tlaková impregnace nebo zakázková výroba stavebních prvků, což přispívá k ekonomické stabilitě regionu.

2.2 MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA A ENVIRONMENTÁLNÍ ASPEKTY

Současné stavebnictví se odklání od masivního dřeva v surovém stavu směrem k vyspělým inženýrským produktům. Tyto materiály jsou navrženy tak, aby eliminovaly přirozené vady dřeva (suky, trhliny) a poskytovaly predikovatelné mechanické vlastnosti nezbytné pro moderní statické výpočty.

Podélně napojované dřevo

Jedná se o technicky vysušené dřevo s vlhkostí kolem 15 %, což minimalizuje kroucení a praskání. Díky zubovitému spoji (cinkování) lze dosáhnout velkých délek, které jsou u běžného řeziva nedostupné. Stavební materiál je označován jako **KVH (Konstruktionsvollholz)**.

Lepené lamelové dřevo

V praxi označováno jako **BSH (Brettschnichtholz)** nebo **GLT (glulam timber)**. Tento materiál vzniká vrstvením lamel s tloušťkou do 40 mm. Je určen pro vysoce namáhané konstrukce s velkým rozpětím (halové objekty, mosty), technologie ejjich výroby navíc umožňuje výrobu zakřivených prvků.

Vrstvené dřevo

Vrstvené dřevo pro nosné účely známé pod označením **LVL (Laminated veneer lumber)** je prvek slepený z nejméně pěti dýh při zachování max. tloušťky jedné dýhy 6 mm (průměrná tloušťka dýhy jsou 3 mm). Vzájemným slepením vzniká průřez požadovaného obdélníkového tvaru.

Křížem vrstvené dřevo

Křížem vrstvené dřevo **CLT (Cross laminated timber)** je tvořen nejméně třemi k sobě plošně lepenými vrstvami. Tyto vrstvy mohou být vytvořeny z lamel rostlého dřeva a/nebo také z panelů na bázi dřeva, minimálně jedna vrstva je ortogonálně (pravoúhle) orientována ke dvěma sousedním vrstvám. CLT panely fungují jako plošné nosné prvky (stěny, stropy) a umožňují rychlou, suchou výstavbu vícepodlažních budov.

Aglomerované materiály na bázi dřeva

Aglomerované materiály umožňují efektivní recyklaci dřevního odpadu a zhodnocení méně kvalitní suroviny. Patří sem **OSB desky** s orientovanými třískami, které jsou pilířem sendvičových dřevostaveb, a dále

dřevovláknité desky (MDF, HDF). Specifickou skupinu tvoří desky s minerálními pojivy (např. cementotřískové), které kombinují výhody dřeva s vysokou odolností proti vlhkosti, ohni a mechanickému poškození, což je předurčuje pro použití ve vlhkých provozech a u fasádních systémů.

Environmentální hodnocení

Udržitelnost materiálů je dnes exaktně měřena pomocí metodiky **Posuzování životního cyklu (LCA)**. Klíčovým dokumentem je **EPD (Environmentální prohlášení o produktu)**, které poskytuje data o dopadu na životní prostředí od těžby až po likvidaci.

Nejdůležitějším parametrem je **GWP (potenciál globálního oteplování)**. Dřevo je unikátní svou schopností sekvestrace uhlíku - 1 m³ dřeva v sobě váže přibližně **jednu tunu CO₂**, čímž stavba z dřeva funguje jako dlouhodobé úložiště emisí, na rozdíl od výroby cementu či oceli, které jsou energeticky extrémně náročné.

S ohledem na strategii současného stavebnictví i s predikcí vývoje do budoucna je tedy **významný značný potenciál dřeva** jako stavebního materiálu, resp. prvků, který spočívá ve výhodné kombinaci vlastností dřeva a jeho nízké zátěže pro životní prostředí.

2.3 KONSTRUKCE, POŽÁRNÍ BEZPEČNOST A OCHRANA

Použití dřeva v nosných systémech podléhá přísné normativní kontrole, která zajišťuje bezpečnost a dlouhou životnost staveb. Základem je správné zařazení materiálu a pochopení jeho chování v extrémních podmínkách. Využití dřeva v nosných konstrukcích se neomezuje pouze na pozemní stavby, ale představuje plnohodnotnou a udržitelnou alternativu i pro inženýrské stavby, jako jsou lávky pro pěší a silniční mosty.

Třídění dřeva a jeho pevnostní parametry

Každý dřevěný prvek použitý v nosné konstrukci musí být klasifikován do pevnostní třídy. Třídění probíhá buď **vizuálně** (zejména podle znaků, jako je velikost suků, šířka letokruhů ad. s rozdělením na třídy S7, S10 a S13), nebo **strojově**, což je přesnější metoda měřící modul pružnosti. Označení jako **C24** (pro jehličnany) nebo **D40** (pro listnáče) přímo udává charakteristickou pevnost v ohybu v MPa, což je klíčový údaj pro statický návrh budovy. Jednotlivé třídy pevnosti rostlého konstrukčního dřeva jsou stanoveny v ČSN EN 338, pro každou třídu pak norma uvádí charakteristické hodnoty pevností, tuhosti a objemové hmotnosti. Třídy pevnosti lamelového dřeva **Gxx** jsou definovány v ČSN EN 14080, od nejnižší třídy GL20 do nejvyšší třídy GL36.

Požární odolnost a bezpečnost

Při návrhu nosné dřevěné konstrukce (dřevostavby) u odborné veřejnosti již

nepřevládá povědomí o nízké požární bezpečnosti. Naopak dřevo se chová predikovatelně - na povrchu vytváří zuhelnatělou vrstvu, která izoluje vnitřní jádro a zpomaluje proces odhořívání (rychlost zuhelnatění cca 0,6-0,7 mm/min). Díky revizím norem (např. příloha K ČSN 73 0802) je dnes v ČR možné stavět budovy s nosnou konstrukcí ze dřeva s požární výškou **18 m**, nebo až **22,5 m** (pro objekty kombinované s výškou hořlavé části nejvýše 15,0 m). To otevírá cestu pro bytovou a administrativní výstavbu, která byla dříve omezena na nízkopodlažní objekty.

Dřevostavby

Zatímco na přelomu tisíciletí byly domy s dřevěnou nosnou konstrukcí spíše okrajovou záležitostí, v posledních letech jejich podíl na celkovém počtu dokončených rodinných domů stabilně překračuje hranici 15 % (v některých regionech se blíží až k jedné čtvrtině). Hlavní podíl na trhu (přes 80 %) tvoří technologie na bázi lehkého rámového skeletu, ať už jde o panelovou montáž, nebo staveništní realizaci. V regionu České republiky i na Slovensku je stále prostor pro zvýšení tohoto podílu a poměrové zastoupení dřevostaveb na trhu prokazuje odolnost těchto staveb vůči výkyvům a roste rychleji než u zděných staveb. Lze předpokládat, že podíl dřevostaveb v rezidenčním sektoru bude v následujících letech nadále růst a postupně by se mohl přiblížit průměru okolních zemí, jako je Rakousko nebo Německo (kolem 25 %).

Významný rozvoj se navíc očekává nejen u rodinných domů, ale také v oblasti bytových domů a modulárních staveb, které nabízejí rychlé a cenově dostupné řešení pro moderní a ekologické bydlení. Klíčovým faktorem pro tento růst bude rozvoj technologií zpracování dřeva a větší podpora výstavby vícepodlažních dřevěných budov. Tyto hybridní dřevěné systémy se v zahraničí významně uplatňují u výškových budov, například Mjøstarnet v Norsku (2019, 85,4 m) nebo Brock Commons Tallwood House v Kanadě (2017, 54 m).

Mosty a lávky pro pěši

Dřevěné mosty a lávky mají v Česku a na Slovensku dlouhou tradici, přičemž některé historické stavby se dochovaly dodnes. Ve druhé polovině 20. století bylo jejich využití potlačeno ve prospěch oceli a betonu. V posledních desetiletích se však dřevo znovu prosazuje, zejména u lávek pro pěši a v menší míře i u silničních mostů. Přerušený vývoj vedl k předsudkům, které přetrvávají i kvůli problémům s trvanlivostí některých novějších staveb. Přesto existuje řada úspěšných realizací v Česku, na Slovensku i ve světě, které potvrzují konkurenceschopnost dřeva v této oblasti dopravního stavitelství.

Mezi hlavní výhody dřevěných mostů a lávek patří estetika, ekologičnost, nízká hmotnost a příznivé náklady na výrobu i montáž. Nízká hmotnost zároveň snižuje nároky na spodní stavbu a umožňuje rychlou výstavbu. Nejčastěji se používá lepené lamelové dřevo, ale také vrstvené či rostlé dřevo. Dřevěné mosty se dnes navrhuji především pro pěši a silniční dopravu s rozpětím do 70 m, většinou bez zastřešení, a to i přesto, že bez zastřešení je výrazně snížena životnost prvků.

Nosné konstrukce mohou mít různé podoby, resp. konstrukční uspořádání, například deskové, trémové, obloukové nebo visuté, přičemž jejich volba závisí na rozpětí, zatížení či charakteru překážky. Vyšší efektivnosti a trvanlivosti lze dosáhnout využitím moderních předpjatých lamelových nebo spřažených dřevo-betonových mostovek.

Mechanismy degradace: Biotické a abiotické vlivy

Životnost dřeva je ohrožena dvěma hlavními faktory:

Biotické faktory: Patří sem dřevokazné houby (měkké tlení, hnědé a bílé tlení), plísně a hmyz. Rozvoj hub je kriticky závislý na vlhkosti; pokud se vlhkost dřeva udrží trvale pod 20 %, riziko napadení je minimální.

Abiotické faktory: Hlavním činitelem v exteriéru je UV záření, které rozkládá lignin a způsobuje šednutí dřeva, a voda, která vyvolává objemové změny, trhliny a následně umožňuje snadnější průnik biotických škůdců do hloubky materiálu.

Prioritou moderního stavění je **konstrukční ochrana** - tedy návrh stavby tak, aby do dřeva nezatékalo a bylo zajištěno přirozené odvětrávání. Chemická ochrana (impregnace) by měla být až druhotným opatřením. Pokud dojde k poškození (např. u historických krovů), využívají se moderní sanační metody, jako jsou **celodřevěné protézy** u tesařských spojů nebo sterilizace horkým vzduchem či mikrovlnami, které účinně likvidují škůdce bez nutnosti demolice celého prvku.

3 EFEKTÍVNE VYUŽÍVANIE STAVEBNÉHO ODPADU A VYBRANÝCH PRIEMYSELNÝCH ODPADOVÝCH PRODUKTOV V NOSNÝCH KONŠTRUKCIÁCH A LÍNIOVÝCH STAVBÁCH

Efektívne využívanie stavebného a priemyselného odpadu predstavuje jeden z kľúčových nástrojů transformácie stavebníctví smerom k udržateľnému a cirkulárnemu modelu hospodárenia se zdroji. Stavebný sektor patrí dlhodobě medzi najvýznamnejšie producenty odpadu, pričom stavebný a demoličný odpad tvorí podstatnú časť celkovej produkcie odpadů v Európskej únii. V absolútnych hodnotách se

jedná o stovky miliónů tun ročne, pričom samotný minerálny stavebný a demoličný odpad dosahuje približne 350 Mt ročne a při započtení výkopových zemin až cca 970 Mt. Tento objem predstavuje významný materiálový potenciál, jehož efektívne využití je zásadní podmínkou přechodu na principy cirkulární ekonomiky.

3.1 STAVEBNÍ ODPAD V RÁMCI REGIONU A PŘEDPOKLADY PRO VHDNÉ ZPRACOVÁNÍ ODPADU VE STAVEBNÍCTVÍ

V kontextu strategických dokumentů Evropské unie, zejména EU Green Deal, představuje efektívne využívanie druhotných surovín kľúčový nástroj pro snižování emisí skleníkových plynů a podporu oběhového hospodářství. Z pohledu EU Taxonomy lze tyto aktivity jednoznačně přiřadit k environmentálním cílům „zmírňování změny klimatu“ a „přechod na cirkulární ekonomiku“. Praktická implementace těchto principů vyžaduje nejen zvýšení míry recyklace stavebních odpadů, ale také jejich skutečné využití v nových konstrukcích, a to při současném dodržení zásady „Do No Significant Harm“, která zajišťuje, že nedochází k negativním dopadům na ostatní složky životního prostředí. Významnou oblastí materiálového využití jsou vedlejší produkty energetického a hutního průmyslu, a to zejména všechny druhy popílků,

energósádovec a vysokopecní strusky. Tyto materiály vykazují vhodné chemické a mineralogické vlastnosti, které umožňují jejich využití jako částečné náhrady primárních surovin v cementových a betonových systémech. Jejich aplikace přispívá nejen ke snížení spotřeby přírodních zdrojů, ale také ke snížení environmentální zátěže spojené s výrobou tradičních stavebních materiálů. Současně však jejich využití vyžaduje důslednou kontrolu kvality, zejména z hlediska obsahu škodlivin, jemnosti a reaktivity, v souladu s příslušnými technickými normami.

V současnosti však v návaznosti na EU Green Deal začíná vystupovat do popředí spíše snaha o tzv. recyklaci uložených popílků z uložist jejich následným dotěžením a využitím.

3.2 DEFINICE, VZNIK, SPECIFIKA A MOŽNOSTI NAKLÁDÁNÍ SE STAVEBNÍM A PRŮMYSLVÝM OPADEM V RÁMCI REGIONU

Problematicku vzniku a nakládání s odpady upravuje zákon č. 541/2020 Sb., který vychází z legislativy Evropské unie. Stanovuje pravidla pro předcházení vzniku odpadu, jeho zpracování i povinnosti jednotlivých subjektů. Doplnjuje jej vyhláška č. 273/2021 Sb. a Katalog odpadů (vyhláška č. 8/2021 Sb.). Od roku 2030 bude zakázáno skládkování využitelných odpadů, zejména těch s výhřevností nad 6,5 MJ/kg, biologicky nestabilních odpadů a zpracovatelných nebezpečných odpadů. Stavební a demoliční

odpady, které lze recyklovat či znovu využít, musí být při realizaci staveb odděleně shromažďovány. Zákon zároveň ukládá povinnost nakládat s nimi tak, aby byla maximalizována jejich recyklace a opětovné využití.

Pojem průmyslový odpad není legislativně přesně definován, obvykle však zahrnuje odpady vznikající průmyslovou činností s potenciálem dalšího využití, například ve stavebníctví. Stavební odpad tvorí jeho

významnou podskupinu a takový odpad vzniká pri ťžbe surovín, výrobe materiálov i samotné výstavbe a demolici. Kľúčovou prioritou je prevence jeho vzniku, napríklad optimalizáci

návrhu staveb, využitím prefabrikace či ľhkých materiálov, čo môže znížiť produkci odpadu i spotrebu surovín.

3.3 DOMINANTNÍ DRUHOTNÉ SUROVINY A VEDLEJŠÍ PRODUKTY, KTERÉ JE MOŽNÉ VYUŽÍVAT VE STAVEBNICTVÍ

Pod pojmem **vedlejší energetické produkty** se rozumí vedlejší produkty a druhotné suroviny vzniklé jako odpad nebo produkt z tepelných procesů. Patří sem zejména popílek, škvára, struska, stavební a demoliční odpad, dále odpady z ťžby a úpravy nerostů a stabilizovaný odpad.

Popílky jsou obecně nerostné zplodiny vzniklé během spalování tuhých paliv. Vlastnosti popílku se odvíjí od druhu použitého paliva a od technologie spalování. Ve stavebnictví se používá zejména popílek z vysokoteplotního spalování uhlí.

Škváry jsou zpevněné zbytky pevných paliv a spalovaného materiálu při různých technologiích spalování. Škváry, které splňují jakostní podmínky, se mohou používat jako ľhké kamenivo do nepřímo nebo kombinovaně ľhčených betonů.

Struska obecně je veškerý odpad vznikající v průmyslových pecích. Ve stavebnictví je nejvíc využívána vysokopeční struska, která vzniká ve vysoké peci hutnické výroby. Jedná se o nekovový zbytek roztavené hlušiny, ke kterému se následně přidávají struskotvorné látky. Mnohdy se zaměňuje terminologie s tím, že struskou se nazývá škvára.

Stavební a demoliční odpad: beton, cihly, tašky a keramické výrobky, směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel, tašek

a keramických tvarovek, zemina a kamení, vytěžená jalová hornina, šterk ze železničního svršku, směsné stavební a demoliční odpady, odpady z ťžby a úpravnictví surovín. Téměř veškerý odpad vzniklý při ťžbě a úpravnictví primárních surovín je využíván. Pro zasypávání je možné využívat následující odpady ze skupiny „Odpady z geologického průzkumu, ťžby, úpravy a dalšího fyzikálního a chemického zpracování nerostů“ dle katalogu odpadů, za podmínek, že budou dodrženy obecné podmínky pro zasypávání dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. §6: odpady z ťžby nerudných nerostů, odpadní šterk a kamenivo, odpadní šterk a jíl, nerudný prach neuvedený pod číslem, hlušina a další odpady z praní a čištění nerostů, odpady z řezání a broušení kamene.

Stabilizovaný odpad je odpad upravený před opětovným použitím procesem fyzikálně-chemické technologie solidifikace a/nebo stabilizace s výstupem upravený odpad. Stabilizovaný odpad používaný k zasypávání má být inertní, s možným obsahem škodlivin nepřekračujícím limity vymezené v příloze č. 5 vyhlášky 273/2021 Sb. Nesmí se jednat o odpady vymezené v bodě A a B přílohy č. 4 vyhlášky 273/2021 Sb. a musí splňovat další podmínky pro zasypávání vymezené v §6 vyhlášky 273/2021 Sb. Minerální odpady zejména s obsahem reaktivního vápna ve formě oxidu nebo hydroxidu mohou být stabilizovány, resp. solidifikovány pomocí technologie zrychlené karbonatace.

3.4 ZÁKLADNÍ SOUBOR MOŽNÝCH VARIANT VYUŽITÍ ODPADŮ VE STAVEBNICTVÍ

Druhotné suroviny a recyklované materiály představují významný zdroj pro náhradu přírodních surovín ve stavebnictví. Jejich využití je možné zejména v betonech, maltách, stmelených a nestmelených směsích pro dopravní stavby, v konstrukcích sypaných hrází, při výrobě pórovitých kameniv,

cementu, vápna, sádrových pojiv, ale i například autoklávovaného pórobetonu. Použitelnost těchto materiálov je vždy podmíněna splněním technických a normových požadavků. U **kameniva** se hodnotí především zrnitost, obsah jemných částic, nasákavost, mrazuvzdornost, hutnitelnost a chemické

složení (zejména obsah síry, síranů a chloridů). U **recyklovaného kameniva do betonu** je důležité také posouzení množství vodou rozpustných látek a jeho vlivu na počátek tuhnutí cementového pojiva. V maltách lze využít různé frakce kameniva i filery, pokud splňují požadavky na jemnost, obsah síry a ztrátu žiháním. V **dopravním stavitelství** nacházejí uplatnění zejména směsi stmelené hydraulickými pojivy a nestmelené směsi, u nichž jsou rozhodující zrnitost, obsah jemných částic, plasticita a dosažitelná míra zhutnění. Pro **sypané hráze** je nezbytné hodnotit filtrační schopnost, propustnost, ulehlost, plasticitu a obsah organických látek. Samostatnou oblast tvoří **pórovitá kameniva**,

například keramzit, spékané popílkové kamenivo, zpěněná struska, cihelná drť nebo recyklovaný pórobeton. Významné jsou také aktivní složky do cementových kompozitů, zejména popílek a granulovaná vysokopecní struska, které mohou působit jako pucolánové nebo latentně hydraulické materiály. Druhotné suroviny lze využít rovněž při výrobě cementu, vápna, sádrových pojiv a pórobetonu. Jejich aplikace však nesmí zhoršovat vlastnosti výsledného výrobku a musí respektovat požadavky příslušných norem na chemické složení, jemnost, obsah škodlivin, objemovou stálost a mechanické vlastnosti.

3.5 PŘÍKLADY POUŽITÍ STAVEBNÍHO ODPADU V LINIOVÝCH STAVBÁCH

Zpětné využití zemin, popelovin a stavebních recyklátů představuje významnou možnost, jak snížit spotřebu přírodních surovin a současně omezit množství ukládaných odpadů. Jednou z perspektivních technologií je využití zemin a popelovin ve formě samozhutnitelných zálivek. Tyto materiály lze aplikovat zejména při vyplňování výkopů inženýrských sítí, dutin, příkopů, opěrných konstrukcí nebo jiných obtížně přístupných prostor. Hlavní výhodou samozhutnitelných zálivek je jejich snadná aplikace bez nutnosti hutnění. Směs lze ukládat pomocí skluzů, žlabů nebo čerpacích zařízení, což umožňuje rychlé zaplnění výkopů i v omezeně přístupných místech. Tím se snižuje potřeba mechanizace, zkracuje doba provádění prací a zvyšuje bezpečnost pracovníků, kteří nemusí vstupovat do výkopů. Zálivky zároveň omezují riziko poškození potrubí a dalších inženýrských sítí, nevytvářejí dutiny a po vytvrdnutí vykazují dostatečnou únosnost a stabilitu. Samozhutnitelné zálivky lze navrhovat podle konkrétních požadavků stavby. Jejich složení obvykle zahrnuje zeminu, vápenný hydrát, cement, vodu a vhodnou plastifikační nebo ztekucující přísadu. Část zeminy může být nahrazena fluidním popílkem, který může přispívat k úpravě vlastností směsi a snížení dávky

pojiva. Důležitými sledovanými parametry jsou zejména rozlití, pevnost v tlaku, objemová hmotnost a smrštění. Ověřovací zkoušky ukázaly, že při vhodném návrhu receptury lze dosáhnout dobré zpracovatelnosti, pochozího stavu již po krátké době zrání a pevnosti vhodné pro výplňové a podkladní aplikace. Technologie byla ověřena jak při přípravě směsi v betonárně, tak přímo in situ pomocí míchací lopaty. V obou případech bylo dosaženo požadovaných parametrů, zejména rozlití přibližně 690-700 mm, pevnosti v tlaku přibližně 0,66-0,75 MPa a omezeného smrštění kolem 2 %.

Další možností využití druhotných surovin, která již byla úspěšně ověřena v praxi, je aplikace betonového recyklátu do konstrukčních vrstev zemního tělesa. Směs může obsahovat převážně betonový recyklát frakce 0/16 mm, menší podíl cementu, případně fluidní popílek ze spalování biomasy nebo cementárenské odprašky. Ověření v konstrukční vrstvě železničního spodku prokázalo, že betonový recyklát může dosahovat požadované únosnosti a představuje vhodnou alternativu ke standardním přírodním materiálům, například štěrkodrti.

4 VYUŽÍVANIE MODERNÝCH STAVEBNÝCH MATERIÁLOV

Stavebníctví aktuálně čelí výzvě výrazného snižování energetické náročnosti a omezování emisí CO₂ v průběhu celého životního cyklu staveb. Tradiční materiály, ačkoliv léty osvědčené, často narážejí na limity z hlediska uhlíkové stopy, objemové náročnosti a trvanlivosti. Kapitola 4 představuje inovativní a udržitelný přístup k návrhu a implementaci moderních stavebních materiálů, které při stejné nebo vyšší spolehlivosti snižují zabudované emise, optimalizují materiálovou náročnost a minimalizují nutnost budoucí

údržby. Zabývá se uplatněním ultra-vysokohodnotného betonu (UHPC), patinujících a vysokopevnostních ocelí, kompozitních materiálů (FRP) i optimalizovaných cementových směsí. Plná verze kapitoly poskytuje komplexní inženýrský vhled od specifikace materiálů přes praktické realizace a řešení styku s tradičními materiály až po moderní metody zesilování stávajících konstrukcí, a je tak cenným průvodcem pro budoucí praxi.

4.1 PREZENTOVANIE MODERNÝCH MATERIÁLOV PRE NOSNÉ KONŠTRUKCIE (UHPC, HSS, GFRP, CFRP...)

Správná volba materiálů a detailů dokáže snížit environmentální dopady staveb o desítky procent, prodloužit dobu do dalšího zásahu (často o 10-30 let) a snížit celkové náklady (LCC). V této podkapitole jsou podrobně rozebrány klíčové materiály:

HPC/UHPC (Ultra-vysokohodnotný beton):

Představuje technologickou špičku ve stavebníctví s extrémní pevností v tlaku (přes 120 MPa) a výbornou tahovou pevností. UHPC vyniká vysokou trvanlivostí a extrémní odolností vůči korozi či mrazu, čímž umožňuje navrhovat velmi subtilní prvky. Životnost může přesahovat 200 let, což zcela mění ekonomiku údržby.

Patinující ocel (Corten, Atmofix):

Nízko-legovaná ocel, která přirozeně vytváří stabilní ochrannou vrstvu rzi, čímž brání další korozi. Nevyžaduje protikorozní nátěry, čímž eliminuje emise VOC, usnadňuje recyklaci a výrazně šetří provozní náklady. Vhodně navržená ocelová konstrukce poskytuje

estetickou i ekologickou hodnotu, avšak klade zvýšené nároky na architektonický návrh zamezující stékání rzi.

FRP materiály (Polymery vyztužené vlákny):

Kompozitní výztuže (CFRP, GFRP, BFRP atd.) nacházejí zásadní uplatnění v prostředích s vysokým korozním rizikem. Nabízejí absolutní odolnost proti korozi, extrémní pevnost v tahu a oproti oceli i zlomkovou hmotnost. Jejich nasazení zmenšuje nutné krytí betonem a šetří zásadní objemy cementu.

Betony s nižší emisí stopou:

Významné snížení uhlíkové stopy zajišťuje nahrazení části portlandského cementu vhodnými příměsemi (vysokopevní struska, popílek) či přechod na geopolymery a hybridní cementy, které mohou být odolnější proti síranové korozi. Ochrana povrchů a detailů: Využitím povrchové hydrofobizace nebo speciálních povlaků se oddaluje potřeba sanací. Stejně důležité je však dokonalé provedení kritických konstrukčních detailů.

4.2 PRAKTICKÉ APLIKÁCIE MODERNÝCH MATERIÁLOV V RÁMCI NOSNÝCH KONŠTRUKCIÍ

Teoretické parametry jsou v této části v kompletním dokumentu demonstrovány na případových studiích z reálné praxe:

Aplikace UHPC:

Exceluje u tenkostěnných lávek (např. unikátní zavěšená lávka v Čelákovících s rozpětím 156 m) a při sanacích. Převratným využitím v rámci ČR byla rekonstrukce Barrandovského mostu, kde tenká vrstva UHPC obstarala jak významné

zesílení desky, tak dlouhodobou hydroizolační funkci bez nutnosti budoucích výměn.

Aplikace patinující oceli:

Od dálničních mostů až po fasády sportovních hal a veřejných budov. Například francouzský viadukt Scyotte nebo finský most Sudentassu demonstrují harmonické zapojení bezúdržbového ocelového povrchu do krajiny. V Česku a na Slovensku se materiál objevuje jak na nosných konstrukcích mostů, tak i ve veřejném prostoru a na fasádách.

Aplikace FRP materiálů:

Uhlíkové a sklolaminátové prvky excelují u složitých rekonstrukcí. Úspěšným příkladem je zesilování předpjatých mostů Tatranské elektrické železnice, kde byly použity uhlíkové lamely (CFRP) pro oddálení limitů únosnosti mostu. Dále byla GFRP výztuž použita v nově navržených lávkách na Slovensku kvůli ztenčení krycí vrstvy.

4.3 EFEKTÍVNE SPÁJANIE TRADIČNÝCH STAVEBNÝCH MATERIÁLOV S MODERNÝMI

Základním kamenem pro spolehlivé zesilování a sanace je kvalita spojení mezi stávajícím "starým" podkladem a "novým" betonem (např. při aplikaci UHPC vrstev).

Kontakt betonů různého stáří:

Únosnost kompozitního prvku je kriticky závislá na smykové rovině styku. Experimenty a numerické modely popsané v kompletním dokumentu jasně potvrzují, že hladký povrch neposkytuje dostatečnou únosnost. Razantního zvýšení spolehlivosti styku lze docílit

zdrsněním, vytvářením zářezů nebo mechanických ozubů v podkladové vrstvě.

Kontakt GFRP a betonu:

Bylo také testováno efektivní spojení komorových sklolaminátových (GFRP) nosníků s betonovou deskou. Spřažená hybridní konstrukce může v praxi nahradit plechobetonové stropy a zajistit odolnost v agresivních prostředích za cenu snížení celkové váhy konstrukce.

4.4 ZOSILŇOVANIE KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV MODERNÝMI STAVEBNÝMI MATERIÁLMI

Udržitelnost ve stavebnictví se neměří jen novými stavbami, ale i možností efektivně rekonstruovat ty stávající. Zesilování prvků moderními materiály často eliminuje potřebu energeticky náročných demolí a novostaveb.

Zvětšení průřezu nadbetonováním:

Moderní aplikace HPC a UHPC vrstev přinášejí enormní nárůst únosnosti při jen minimálním zvětšení tloušťky konstrukcí.

Výztužení a dodatečné předpětí pomocí FRP:

Tradiční těžké ocelové zesilovací prvky a lamely dnes nahrazují lehké polymery. FRP lamely lepené na povrch (nebo pruty zapuštěné blízko povrchu - NSMR) poskytují snadnou manipulaci, nepotřebují náročnou zvedací techniku a zachovávají si korozní inertnost i ve vysoce agresivních oblastech s velkým obsahem chloridů.

4.5 SHRNUTÍ KAPITOLY

Kapitola 4 ukazuje, že implementace moderních materiálů dnes přesahuje hranici experimentu - stává se nutností pro splnění nejpřísnějších norem udržitelnosti. UHPC, patinující oceli, FRP kompozity či optimalizovaná pojiva otevírají inženýrům i architektům dveře k navrhování

architektonicky zajímavých, extrémně odolných a ze své podstaty bezúdržbových objektů. Tím, že se posuzuje stavební dílo v celém svém životním cyklu (LCA, LCC), se moderní materiály ukazují jako nejehospodárnější řešení pro budoucí podobu přeshraniční stavební praxe.

5 OPÄTOVNÉ VYŽITIE KONŠTRUKCIÍ ALEBO ICH ČASTÍ

5.1 PROBLEMATIKA OPÄTOVNÉHO VYUŽITIA PRVKOV

Opäťovné použitie (reuse/reusing) predstavuje vyššiu úroveň zachovania hodnoty než recyklácia - pri recyklácii sa zachováva materiál, ale stráca sa tvar a „funkčná hodnota“ výrobku. Prechod od recyklácie k opäťovnému použitiu však čelí viacerým technickým, logistickým, ekonomickým a regulačným prekážkam a vyžaduje zmeny v návrhu, demontáži, hodnotení použiteľnosti a v neposlednom rade v normových a zmluvných rámcach. Rastúci objem výskumu na tému opäťovného využitia dosluhujúcich prvkov v stavebníctve (nosné konštrukcie budov, inžinierske konštrukcie a mosty) sa zameriava na potenciál znižovania emisií CO₂ a predlžovania zvyškovej životnosti, s cieľom identifikovať udržateľné alternatívy ku konvenčným stavebným metódam.

Opäťovné použitie prvkov/častí sa spravidla realizuje prostredníctvom viacstupňového procesného reťazca, ktorý zahŕňa viacero fáz - od identifikácie a auditu existujúcej konštrukcie cez plánovanie demontáže, samotnú demontáž, skladovanie a celkovú logistiku až po následné posúdenie vhodnosti prvkov, ich úpravy, repasovania/zosilnenia, končiac opäťovným zakomponovaním do konštrukcie. Súčasné výskumy potvrdzujú, že úspešná implementácia opäťovného použitia si vyžaduje vnímanie tohto procesu ako uceleného reťazca, v ktorom rozhodnutia prijaté v počiatočných fázach významne ovplyvňujú technickú, environmentálnu aj ekonomickú efektívnosť celého postupu.

5.2 AKTUÁLNE PREKÁŽKY OPÄTOVNÉHO VYUŽITIA

Aj keď sú výhody opäťovného využitia zrejmé, stále existujú prekážky pre jeho širšiu aplikáciu, najmä u konštrukčnej ocele. Jednou z hlavných prekážok pre opäťovné využívanie je logistická náročnosť demontáže a prepravy prvkov a častí. Na rozdiel od tradičnej výstavby, opäťovné využívanie si vyžaduje starostlivé plánovanie na zabezpečenie dodatočných úloh. Taktiež, stavebné predpisy a regulácie v niektorých regiónoch nemusia plne umožňovať používanie opäťovne využitých materiálov, najmä v prípade nosných prvkov.

V prípade prvkov z existujúcej konštrukcie môže byť niekedy problematická i samotná kvalita, najmä z titulu aktuálnych imperfekcií, ale aj kvality výroby spred desiatok rokov. Každý vytypovaný prvok by mal podliehať kontrole a overeniu jeho parametrov vrátane odolnosti. V neposlednom rade vstupujú do

tohto procesu degradačné činitele (najmä korózia).

Aj náklady na pracovnú silu a technológie môžu byť v týchto prípadoch vysoké. Pritom samotné náklady na dopravu sú dôležitým faktorom. Ak je potrebné prvky určené na opäťovné využitie prepravovať na veľké vzdialenosti, môže to významne negovať environmentálne výhody spojené s opäťovným využitím.

Zvláštny prístup je potrebné venovať dynamicky namáhaným prvkom, ktoré sú počas svojej životnosti vystavené intenzívnemu cyklickému namáhaniu (najmä v mostoch). Z tohto dôvodu sa v praxi opäťovné použitie mostných ocelových prvkov často realizuje v menej náročných aplikáciách, ako sú pešie a cyklistické lávky, sekundárne nosníky, dočasné konštrukcie alebo prvky vystavené prevažne statickému namáhaniu.

5.3 NÁVRH DEMONTOVATEĽNÝCH STAVIEB

Návrh demontovateľných stavieb je jedna z kľúčových stratégií, ktorá sa zameriava na návrh a realizáciu konštrukcií, ktoré môžu byť na konci svojho životného cyklu ľahko

demontované. To umožňuje priamu obnovu materiálu, prvkov i nosných systémových častí. Oceľ je materiál, ktorý pri tejto stratégii nemá obdobu. Sú však aj príklady železobetónových

prvkov. Základné princípy zahŕňajú používanie skrutkových alebo mechanických spojov a minimalizáciu zvaraných (ocel') a monolitických spojov (betón) v kritických miestach. Okrem toho sa aplikuje začlenenie

štandardizovaných modulárnych komponentov do nosných systémov, ktoré uľahčujú montáž i následnú demontáž. Charakteristická je tiež minimalizácia používania kompozitných materiálov, ktoré sú ťažko separovateľné.

5.4 MODULÁRNA VÝSTAVBA

Modulárna výstavba je ďalší prístup, v ktorom sa môže uplatniť opätovné využívanie nosných prvkov. V tomto prístupe sa konštrukčné prvky, akými môžu byť napríklad oceľové či betónové nosníky alebo iné konštrukčné časti, vyrábajú ako „štandardizované“ prefabrikáty v rámci stanovených modulárnych požiadaviek, ktoré sa na stavbách následne zmontujú do modulárneho systému.

Modulárna výstavba tiež umožňuje lepšiu kontrolu kvality a produkuje sa pri nej menej odpadu. Je zjavné, že sa týmto procesom významne prispieva aj k zníženiu času výstavby. Použitie ocele v modulárnej výstavbe je obzvlášť výhodné kvôli pomeru hmotnosti k pevnosti ocele, čo umožňuje ľahkú prepravu a zmontovanie pomerne veľkých konštrukčných prvkov.

5.5 VYUŽITIE VYZÍSKANÝCH PRVKOV

Princíp opätovného využitia prvkov sa dnes pomerne často aplikuje v prípade drevených konštrukcií, najmä historických krovov alebo zrubových stavieb. Táto tematika je pomerne dobre prebádaná.

Táto časť sa preto sústreďuje na možnosť znovu použitia oceľových prvkov starých nosných konštrukcií v nových nosných oceľových prípadne aj oceľobetónových konštrukciách. Ide najmä o prípady kedy sa z asanovanej nosnej konštrukcie dajú zachovať niektoré konštrukčné prvky, často vo veľkom počte. Tento postup býva dnes veľmi málo

využívaný, pritom jeho potenciál je z hľadiska udržateľnosti pomerne veľký, aj keď stále málo prebádaný. Dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje znovu použitie takýchto prvkov, je to, že okrem posúdenia ich bezpečnosti a spoľahlivosti je potrebné aj overenie ekonomickej výhodnosti.

V tejto sekcii boli pripravené experimentálne merania sústreďujúce sa na opätovné využitie nitovaných prvkov zabetónovaných do betónovej dosky. Výskum sa sústredil na opis funkčnosti spriahnutia prostredníctvom ponechaných hláv nitov.

5.6 ADAPTÍVNE VYUŽITIE KONŠTRUKCIÍ

Adaptabilita konštrukcie sa týka procesu opätovného využitia existujúcej konštrukcie/budovy na inú funkciu, než na akú bola pôvodne navrhnutá, avšak bez jej demontáže. V nových konštrukčných systémoch ide primárne o prvky a celé konštrukčné časti, ktoré majú byť navrhnuté tak, aby boli ľahko prispôsobiteľné novej dispozícii. Je samozrejmé, že táto stratégia bude vyžadovať zásahy do konštrukcie vo forme zosilnenia, či čiastočnej zmeny statického pôsobenia niektorých prvkov a častí.

Takto sa však dá postupovať aj v prípade už existujúcich stavieb, ktoré a priori neboli na

takéto postupy navrhované. I tu sa aplikuje nutná rehabilitácia a zosilnenie prvkov či konštrukčných častí za účelom zabezpečenia zvyšujúcich sa požiadaviek na únosnosť, používateľnosť alebo trvanlivosť.

Ako príklad bol predstavený koncept možného zosilňovania starších oceľových ortotropných mostoviek existujúcich mostov pomocou tenkej nadbetónávky z UHPC alebo vysokopevnostných špeciálnych maltovín. Experimentálne i teoreticky bola preukázaná možnosť zvyšovania spriahnutia medzi týmito dvoma materiálmi pomocou špeciálnych úprav povrchu ocele.

5.7 PREMIESTNENIE KONŠTRUKCIE

Zvláštnym prípadom „adaptability“ konštrukcie je, keď je podstatná časť konštrukcie premiestnená na iné miesto a využitá na iný alebo podobný účel. Ide vlastne o kombináciu dvoch prístupov, a síce demontovateľnosti častí prípadne celej konštrukcie a adaptability.

Typickým príkladom môžu byť napríklad staré dosluhujúce stavby aj mosty, ktoré boli premiestnené na iné miesto. Po určitých konštrukčných úpravách ďalej slúžia ako nosné konštrukcie, avšak spravidla na iný účel, napríklad v prípade mostov ide často o iný - ľahší typ dopravy.

5.8 POKRAČOVANIE V EXPLOATÁCII

Aj keď v tomto prípade nejde o príklad čistého znovu použitia v pravom slova zmysle, je zrejmé, že aj opätovné využívanie prvku na jeho pôvodnom mieste v konštrukcii po skončení jeho plánovanej životnosti (a bez

väčších zásahov) predstavuje jeden z konceptov, kedy dochádza k redukcii uhlíkovej stopy, odpadu i investičných nákladov. Princípom, ako je možné bezpečne docieľiť predlžovanie životnosti, sa venuje kapitola 6.

6 PREDLŽOVANIE ŽIVOTNOSTI EXISTUJÚCICH KONŠTRUKCIÍ

6.1 TERMINOLÓGIA

Problematica predlžovania životnosti stavieb začína vysvetlením základných pojmov, ktoré sa v rámci časti 6.1 úplnej verzie požievajú. Ide najmä o tieto terminologické pojmy:

Spôľahlivosť stavby je schopnosť stavby alebo jej časti plniť požadované funkcie a špecifikované požiadavky počas celej návrhovej životnosti za bežných podmienok a údržby bez nutných opráv a rekonštrukcií v určitom reálnom technickom stave v daných medziach, podmienkach a čase.

Spôľahlivosť existujúcej stavby predstavuje schopnosť stavby alebo jej časti plniť požadované funkcie a špecifikované požiadavky počas jej zvyškovej životnosti za obvyklých podmienok prevádzky a údržby.

Životnosť je časový úsek po zhotovení, počas ktorého stavba alebo jej časti plnia alebo prevyšujú požiadavky na funkčné vlastnosti. Rozlišujeme návrhovú životnosť stavby a zvyškovú životnosť stavby.

Návrhová životnosť stavby je predpokladaný časový úsek, v ktorom sa má stavba alebo jej časť používať na daný účel pri predpokladanej údržbe, ale bez potreby veľkej opravy. Mierami návrhovej životnosti sú **doba prevádzky** a **technický život**. Na kvantitatívne vyjadrenie návrhovej životnosti sa uplatňuje **stredný technický život T** a **stredná doba používania**.

Zvyšková životnosť stavby alebo jej časti je časový interval, za ktorý stavba alebo jej časť dosiahne od určitého okamihu (napr. od času realizácie prehliadky stavby) definovanú limitnú úroveň pravdepodobnosti poruchy (pravdepodobnosti spôľahlivosti), resp. návrhovú životnosť pri predpokladanej údržbe.

Plánovaná zvyšková životnosť stavby alebo jej časti je časový interval, pre ktorý sa stanovuje modifikovaná úroveň spôľahlivosti platná pri prepočtoch existujúcich stavieb (mostov). Súčasne je to doba platnosti prepočtu stavby (mostného objektu), ak sa počas tohto intervalu nezmenila aktuálna zaťažiteľnosť stavby.

6.2 STANOVENIE ZVÝŠKOVEJ ŽIVOTNOSTI KONŠTRUKCIE

Podstatou výpočtu zvyškovej životnosti konštrukcie je modelovanie jej správania sa v čase v závislosti od jej stavebno-technického stavu a pôsobenia okolitého prostredia. Výsledkom je tzv. prognostický model, ktorý umožňuje kvalifikovaný odhad času, počas ktorého bude možné ešte objekt využívať pri splnení minimálnych prevádzkových požiadaviek. Metodika stanovenia zvyškovej životnosti bola spracovaná najmä v súvislosti s mostnými objektmi, pričom sa tu z pohľadu **medzných stavov únosnosti aplikuje najmä metóda funkcie zaťažiteľnosti**. Je potrebné poznať degradačnú funkciu určitej hodnotiacej vlastnosti konštrukcie, napr. korózie ocele, pomocou ktorej sa stanoví časovo závislá odolnosť konštrukcie. Na základe zaťažiteľnosti stanovenej pri aplikácii odolnosti R_p je možné prognózovať jej časovú zmenu súvisiacou so zmenou odolnosti $R(t)$. Zvyšková životnosť t_z sa chápe ako časový rozdiel medzi časom t_p a časom t_L , pri ktorom

sa dosiahne limitná hodnota zaťažiteľnosti stanovená pre mosty danej komunikácie. Z pohľadu medzného stavu **porušenia konštrukcie únavou**, ktorý je doménou najmä stavieb s nosnými ocelovými konštrukciami namáhanými opakujúcim sa cyklickým premenným zaťažením, je potrebné poznať históriu premenného zaťaženia, ktoré únavové porušenie spôsobuje. História zaťaženia sa tu rozumie etapa životnosti stavby od zavedenia do prevádzky až po dobu jej posudzovania. V prípade železničných mostov majú tieto informácie o počtoch a hmotnostiach prevádzkových vlakov k dispozícii správcovia mostných objektov. Pri mostoch pozemných komunikácií je jedinou možnosťou tieto informácie získať z pravidelného sčítavania dopravy, ktoré sa v danom úseku cesty, kde sa most nachádza, zistilo v päťročných intervaloch. Pre budúcu exploatáciu mosta sa použijú modely prevádzkových vlakov železničnej dopravy, resp. únavových modelov

cestnej dopravy, ktoré sa uplatnia počas zvyškovej životnosti mosta. Na základe týchto modelov sa stanoví napätostná odozva relevantného detailu konštrukcie, ktorá sa metódou stekajúceho dažďa, alebo metódou nádržiek roztriedi, čím sa získajú napätostné rozkmity a ich počty. Poškodenie D_d v priebehu

celej životnosti mosta sa vypočíta podľa metódy kumulácie únavového poškodenia Palmgren-Miner, ktorou sa stanoví celková životnosť detailu konštrukcie T_d . Po odčítaní veku konštrukcie od celkovej životnosti T_d sa získa jej zvyškovú životnosť.

6.3 TRVANLIVOSŤ STAVIEB

Trvanlivosťou stavby sa rozumie jej schopnosť zachovať požadované ukazovatele svojich charakteristík po dobu, kedy je vystavená zaťaženiám. Teda trvanlivosť stavieb tak úzko súvisí s ich životnosťou. V súčasnosti sa trvanlivosť konštrukcií zabezpečuje nepriamo formou preventívnych opatrení napr. voľbou vhodných materiálov odolných proti pôsobeniu prostredia, návrhom overených detailov minimalizujúcich vplyvy prostredia a umožňujúcich kontrolu a údržbu, zväčšovaním hrúbok prierezov, ako aj elimináciou vplyvov prostredia protikoróznou ochranou materiálov a konštrukcií, resp. ochranou pred bludnými prúdmi. Postupne sa

však pripravuje metodika navrhovania konštrukcií na trvanlivosť, t.j. zohľadňovať pri overovaní spoľahlivosti konštrukcií nielen medzné stavy vyvolané stálymi a premennými, resp. mimoriadnymi zaťaženiami, ale rešpektovať aj environmentálne zaťaženia vyvolávajúce poškodenia a degradáciu materiálov konštrukcií. Tento proces si vyžaduje znalosť degradačných modelov základných materiálov aplikovaných v stavebníctve. Zatiaľ sú dobre spracované modely korózneho porušenia konštrukčnej a betonárskej ocele, ktoré je možné aplikovať už pri návrhu nosných prvkov stavieb.

6.4 PREDLŽENIE ŽIVOTNOSTI EXISTUJÚCICH STAVIEB

V dôsledku nedostatku finančných zdrojov na rehabilitačné zásahy do existujúcich stavieb je zrejma tendencia predlžovania ich životnosti. V zásade sú možnosti aplikovať rôzne spôsoby predlžovania životnosti stavieb, ktoré môžeme deliť takto:

- administratívne-správne postupy,
- legislatívno-technické prístupy,
- preventívne činnosti,
- rehabilitačné zásahy,
- opätovné použitie stavby.

Za administratívne - správne prístupy k predlžovaniu životnosti existujúcich stavieb môžeme považovať rôzne legislatívne, právne a podobné zásahy do prevádzkovania existujúcich stavieb. V zásade ide o rôzne formy reštrikcií a obmedzení ich prevádzkovania. Tieto prístupy sú typické pre mostné objekty, kde sa často využíva obmedzenie intenzity a/alebo rýchlosti dopravy po moste, či sa dosiahne krátkodobého predĺženia zvyškovej životnosti mosta do doby potrebného rehabilitačného zásahu.

Za legislatívno-technické opatrenia v tomto prípade môžeme považovať rôzne formy modifikácií metodiky hodnotenia konštrukcií, najmä smerníc a predpisov na overovanie ich spoľahlivosti a určovanie ich zaťažiteľností (pri mostoch), ako aj pozitívne zmeny noriem a predpisov z pohľadu určovania zaťažiteľnosti a/alebo životnosti konštrukcií.

Zmeny metodiky hodnotenia existujúcich konštrukcií vyplynuli z potreby rešpektovať pri hodnotení existujúcej konštrukcie výsledky prehliadok, resp. diagnostických prieskumov, ktoré redukujú neistoty procesu overovania spoľahlivosti. Súčasne sa existujúca konštrukcia overuje na zvyškovú životnosť, čo je menšia doba ako jej návrhová životnosť. Implementácia informácií z prehliadok do metodiky posudzovania spoľahlivosti viedla k zníženiu úrovne spoľahlivosti pre posudzovanie existujúcich konštrukcií, čo sa konkretizovalo redukovanými hodnotami indexu spoľahlivosti v porovnaní s jeho návrhovou hodnotou v závislosti od veku konštrukcie a jej plánovanej zvyškovej životnosti.

Za pozitívne zmeny noriem a iných predpisov považujeme najmä zrovnoprávnenie používania plastickej odolnosti prierezov a prvkov s ich pružnou odolnosťou, čo zaviedli Eurokódy pre zvarované prierezy. Pre nitované zložené prierezy však toto neplatí, teda ich odolnosť sa stanovuje pružnostne. Na overenie aplikácie plastickej odolnosti pre nitované prierezy bol na našom pracovisku vykonaný experimentálny - numerický výskum odolnosti nitovaných nosníkov, ktorého závery preukázali možnosť použitia minimálne pružno-plastickej odolnosti nitovaných prierezov a prvkov.

Súčasnú normu pre navrhovanie stavieb priamo predpokladajú už pri ich návrhu aplikáciu **preventívnych opatrení** počas celej doby životnosti stavby. Tieto aktivity sú typické najmä pre mostné objekty, kde výkon preventívnych činností zabezpečujú správcovia /vlastníci mostov. V prípade budov však nie sú k dispozícii normy ani smernice či iné predpisy na výkon preventívnych činností.

Za preventívne aktivity možno považovať:

- dohliadacu činnosť - prehliadky konštrukcií,
- diagnostické prieskumy,
- zaťažovacie skúšky- študijné a overovacie,
- dlhodobý monitoring konštrukcií,
- údržbu a drobné opravy.

Výstupom uvedených preventívnych činností je hodnotenie stavebno-technického stavu konštrukcií. Pre mosty pozemných komunikácií platí v SR aj ČR sedemstupňová klasifikácia hodnotenia, pre železničné mosty je to v SR päťstupňová klasifikácia a v ČR trojstupňová klasifikácia hodnotenia stavebno-technického stavu mostného objektu. Hodnotenie stavebno-technického stavu konštrukcie však spravidla nezohľadňuje aktuálnu spoľahlivosť vyjadrenú zaťažiteľnosťou konštrukcie. Pre rozhodovacie procesy týkajúce sa ďalšej exploatácie konštrukcie je potrebné vykonať komplexné hodnotenie, ktoré zohľadňuje stavebno-technický stav konštrukcie, jej zaťažiteľnosť a ďalšie parametre ovplyvňujúce používanie konštrukcie, čo v prípade mostov je ich priestorové usporiadanie, vek, intenzita dopravy, ako aj ich význam v určitom úseku dopravnej cesty. Potom hovoríme o **komplexnom hodnotení existujúceho mosta**, pričom sú k dispozícii rôzne metódy na báze matematických prístupov. V plnej verzii problematiky je opísaná metóda nedostatkových bodov, ktorá bola vyvinutá na

našom pracovisku a zohľadňuje všetky vyššie spomenuté parametre mostov. Vplyv viacerých parametrov je na výsledný počet nedostatkových bodov zohľadnený ich váhovými faktormi, ktoré boli definované parametrickými štúdiami na súborech mostov v Žilinskom, Banskobystrickom a Košickom samosprávnom kraji. Poradie naliehavosti pre rehabilitácie mostných objektov sa získa po ich zoradení podľa počtu nedostatkových bodov od najvyššieho počtu po najnižší.

Už pri návrhu stavby sa predpokladá, že počas jej životnosti bude vykonávaná pravidelná dohliadacia činnosť, údržba a drobné opravy. **Údržba stavieb** predstavuje súhrn prác, ktorými sa stavby udržuujú v riadnom stavebno-technickom stave pre bezpečnú, plynulú prevádzku za každého počasia a bežných podmienok exploatácie. Konkrétne pri mostoch sa realizuje:

- a) nestavebná údržba,
- b) stavebná údržba,
- c) opravy.

Rehabilitačné zásahy do stavieb predstavujú v porovnaní s predchádzajúcimi prístupmi predĺžovanie ich životnosti stavebné a zvyčajne aj investičné zásahy do existujúcich stavieb so snahou zvýšiť ich spoľahlivosť a/alebo životnosť. V prípade budov sa k rehabilitačným zásahom pristupuje spravidla len na základe známeho stavebno-technického stavu zisteného diagnostickým prieskumom. Pri inžinierskych stavbách, najmä mostoch, sa vyžaduje komplexné hodnotenie mostného objektu a v prípade ich väčšieho súboru aj stanovenie poradia na rekonštrukcie.

Rekonštrukciou sa rozumie každá tvorivá činnosť smerujúca k pozitívnej zmene stavby z pohľadu jej spoľahlivosti. Potreba rekonštrukcie stavby je spravidla vyvolaná jej nespôsobilosťou vykonávať požadované funkcie, teda prenášať zaťaženia pôsobiace na ňu počas jej životnosti. Nespôsobilosť môže byť vyvolaná nedostatočnou spoľahlivosťou stavby vzhľadom na zvýšené spoločenské nároky a z toho vyplývajúci nárast zaťaženia, ale aj nevyhovujúcim priestorovým usporiadaním konštrukcie, čo je aj častý prípad realizácie rekonštrukcie mostných objektov. Za rekonštrukčné zásahy do konštrukcií považujeme nasledujúce činnosti:

- zosilňovanie,
- obnovy,
- dostavby,
- výmeny,
- zvláštne spôsoby rekonštrukcií.

Zosilňovanie prvkov konštrukcií predstavuje zvyšovanie ich odolností formou zväčšovania prierezov. Zosilňovanie prvkov je vyvolané najmä prevádzkovými dôvodmi.

Obnovy sú konštrukčné zásahy do konštrukcie s cieľom obnoviť jej pôvodný stav, ako aj jej prevádzkovanie. Dôvodom obnovy je vždy nevyhovujúci stav konštrukcie obmedzujúci resp. znemožňujúci jej používanie. Rozlišujeme obnovy konštrukčných dielcov alebo obnovy celých konštrukcií.

Dostavby sú rekonštrukcie, ktorými zväčšuje prevádzkovú kapacitu stavby. Podľa realizácie rekonštrukcie delíme dostavby na vertikálne nadstavby a horizontálne prístavby.

Výmeny predstavujú nahradenie nosných prvkov alebo celých konštrukcií novými,

podstatne zmenenými nosnými prvkami alebo celou konštrukciou. K výmenám sa pristupuje v dôsledku zmeny prevádzkových podmienok, čo môže byť vyvolané nárastom zaťaženia, potrebou zmeny priestorového usporiadania konštrukcie a pod.

Za **zvláštne spôsoby rekonštrukcií** považujeme najmä: nepriame zosilňovanie formou zdvojovania prvkov, vkladanie nových prvkov do konštrukcie, ako aj obetónovaním prierezov, zmeny statických systémov konštrukcií a predpínanie prvkov alebo celých konštrukcií.