

TRVANLIVOST A MOŽNOSTI OPRAV STÁVAJÍCÍCH BETONOVÝCH FASÁD ■ DURABILITY PROPERTIES AND REPAIR POSSIBILITIES OF EXISTING CONCRETE FACADES

Jukka Lahdensivu

Článek vychází z informací o posouzení současného stavu 947 budov, sledování povětrnostních podmínek od roku 1961 a předpokladů změn klimatu. Na základě této studie trvanlivosti finských betonových fasád se ukazuje, že odolnost mrazu a tloušťka krycí vrstvy výztuže jen zřídka vyhovuje požadavkům finských stavebních norem. Nehledě na relativně nízké zjištěné hodnoty trvanlivosti betonu bylo skutečné poškození mrazem a korozi výztuže při vizuální prohlídce nalezeno jen zřídka. Poškození se objevuje většinou na fasádách, které jsou často vystaveny vydatnému dešti, a to jsou ve Finsku většinou horní části jižních a západních fasád. ■ This paper is based on the condition assessment data from 947 buildings, weather observations since 1961 and climate change projections. Based on this study, the durability properties of Finnish concrete facades related to frost resistance of concrete or cover depths of reinforcement very rarely fulfil the requirements of Finnish national building codes. Despite of relatively poor durability properties of concrete, visually seen far advanced and wide spread frost damage or corrosion damage is relative rare. The damage appears mostly on facades, which get more rain. In Finland those are upper parts of southern and western facades.

BUDOVY Z PREFABRIKOVANÉHO BETONU VE FINSKU

Ve Finsku, ve srovnání s Evropou, je výstavba budov z prefabrikovaných konstrukčních prvků relativně mladá. Od 60. let 20. století zde bylo postaveno přibližně 44 mil m² fasád z betonových panelů [1]. 60 % finského bytového fondu bylo postaveno v 60. letech a později. Celkem 1,2 mil bytů je ve Finsku v bytových domech [2]. V porovnání k počtu obyvatel (5,4 mil) tvoří tedy betonové budovy významnou část z celkového počtu budov ve Finsku.

Konstrukce finských betonových budov jsou poškozeny vlivem působení mnoha různých poškozujících mechanismů a procesů, jejichž průběh závisí na mnoha konstrukčních, lokálních a materiálových faktorech. Proto je životnost těchto konstrukcí velmi rozdílná. V některých případech konstrukce vyžadují výrazné a často nečekané, technicky a finančně náročné opravy dříve než za deset let od jejich dokončení. Betonové konstrukce jsou ve Fin-

sku opravovány velmi intenzivně od první poloviny 90. let 20. století. Během téměř dvacetiletého období bylo opraveno zhruba 19 % z betonových budov postavených v 60. až 80. letech [3]. Vzhledem k velkému množství existujících betonových konstrukcí je velmi důležité řešit jejich opravy ekonomicky i technologicky trvanlivým způsobem. Tzn. že pro každý případ je třeba najít nejvhodnější metody oprav individuálně a stejně tak je důležité určit pro opravu optimální čas.

Konstrukce betonového fasádního panelu

Prefabrikované betonové fasády jsou nejběžnějším typem fasád na obytných budovách ve Finsku od druhé poloviny 60. let 20. století. Typický betonový fasádní prvek sestává z vnější vrstvy, vrstvy tepelné izolace a vnitřní vrstvy. Vnější a vnitřní vrstvy jsou spolu propojeny jemnou příhradovinou. Vnější vrstva je obvykle 40 až 85 mm silná a vyrobená z betonu dle současného zatřídění C20/25. Tepelnou izolaci tvoří obvykle minerální vlna v tloušťce 70 až 140 mm. Tloušťka vnitřní vrstvy je běžně 150 až 160 mm (nosná část) nebo 70 mm (nenosná část).

Posouzení stavu

Pro posuzování stavu betonových fasád a balkonů byla vytvořena metodika na základě systematického přístupu k posouzení stavu stávající konstrukce, budoucího rozvoje poškození a doporučených opravných postupů. Vlastní posouzení stavu je založeno na vlastnostech cílové budovy, tj. typu konstrukce, materiálech, podmínkách obklopujícího prostředí, už viditelných poškozeních a souboru zjištění z průzkumu. Postup posouzení stavu musí být vždy plánován pro každý objekt samostatně [4].

Posuzování stavu a chování konstrukčního prvku nebo celé skupiny prvků se provádí systematicky, používají se různé průzkumné a pátrací postupy dle projevů jednotlivých degračních mechanismů včetně prohlídek projektové dokumentace, místního šetření, různých měření a sledování změn stejně jako odebírání vzorků ke zkouškám a laboratorním analýzám. Cílem všech uvedených činností je přede-

vším najít příčiny, rozsah a dopady už existujícího poškození stavby stejně jako předvídat budoucí možný rozvoj poškození z aktuálního stavu konstrukce, pokud toto ještě není na povrchu prvku patrné. Data jsou uchovávána i jako vzorky, protože vlastnosti a stav konstrukce se v jejich jednotlivých částech mění různě. Posouzení stavu staré konstrukce vždy zahrnuje významný podíl neurčitosti. K jejímu snížení se při vyšetřování stavu konstrukce používají různé paralelní postupy/metody určování hloubky a rozsahu degradace a sběr dat ze všech možných zdrojů.

MATERIÁLOVÉ DATABÁZE Z PŘEDCHOZÍCH ŠETŘENÍ

Vědecké materiály zahrnují databázi poškození a vlastností materiálů betonových fasádních panelů vyrobených ve Finsku mezi roky 1961 až 1996 a záznamy o sledování počasí od roku 1961 vedené Finským meteorologickým institutem (FMI).

Databáze

Do databáze vlastností materiálů a stavu poškození betonových fasádních panelů byly zaneseny údaje z 947 domů. Data o posouzení stavu vztahující se k odolnosti proti mrazu a mrazovému poškození betonu tvoří výsledky různých laboratorních zkoušek 3 868 vzorků a vizuální posouzení fasád poškozených mrazem. Data vztahující se ke karbonataci betonu a poškození betonových prvků korozi výztuže vycházejí ze stejných vzorků a jsou k nim přidány výsledky 249 693 samostatných měření hloubky krycí vrstvy výztuže na stavbách a informace o viditelném poškození korozi výztuže.

Sledování počasí a předpoklad klimatických změn

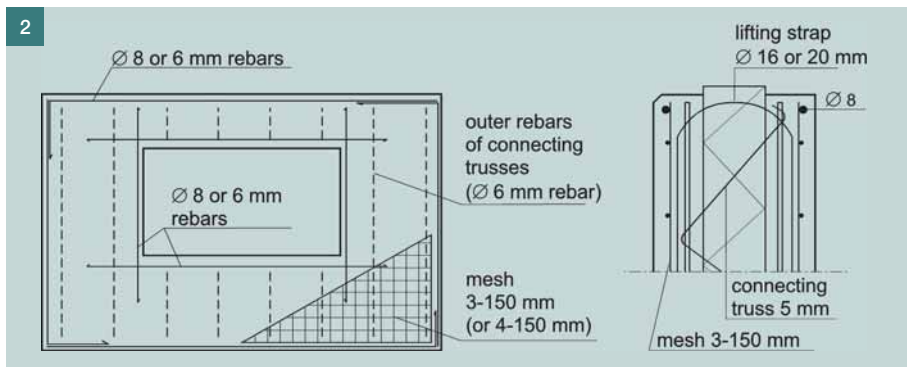
Data o sledování počasí zahrnují přehledy o množství tekutých srážek, tj. deště a deště se sněhem. Oba uvedené typy srážek mohou vsakovat do pórové struktury betonu. Roční cykly zmraznutí-tání jsou shromažďovány od roku 1961. Mrazové cykly jsou načítány v následujících teplotních kategoriích: < 0 °C, < -2 °C, < -5 °C a < -10 °C. Odpovídající mrazové cykly jsou načítány i v případě, kdy po dešti nebo deš-



1



3



Obr. 1 Hervanta, předměstí finského Tampere postavené převážně v 70. letech a počátkem 80. let 20. století ■ Fig. 1 Hervanta suburban area in Tampere, Finland, built mostly in the 1970's and early 80's.

Obr. 2 Typická výztuž vnější vrstvy fasádního panelu ■ Fig. 2 Typical reinforcement of outer layer of a concrete facade panel

Obr. 3 Místní poškození fasádního panelu korozí okrajového výztužného prutu způsobenou karbonatací betonu a malou tloušťkou krycí vrstvy výztuže ■ Fig. 3 Local corrosion damage in edge bar caused by carbonati

ti se sněhem během tří následujících dnů přijdou teploty pod nulou. Záznamy o sledování počasí obsahují také údaje o směru a rychlosti větru během deště od roku 1961.

Projekce o změnách klimatu vycházejí z výsledků dvou výzkumných projektu FMI: ACCLIM [5] a REFI [6].

TRVANLIVOSTNÍ VLASTNOSTI A POŠKOZOVÁNÍ BETONU

Obecně jsou všechny prefabrikované betonové fasádní panely vyráběny stejným způsobem, ale existuje mnoho rozdílů v jejich površích a ve vlastním procesu výroby. Ty mají základní vliv např. na umístění výztuže (tj. skutečnou tloušťku krycí vrstvy, pozn. red.) a kvalitu betonu. Nejčastěji používané povrchy betonových panelů jsou podle databáze kartáčovaný natíraný beton, beton s obnaženým kamenivem a natřený prostý beton.

Odolnost betonu mrazu a rozmrazování

Podle posuzování stavu stávajících betonových fasád, materiálové vlastnosti vztahující se k odolnosti betonu mrazu velmi zřídka vyhovují požadavkům finských stavebních norem. V mrazu-

vdorném betonu by ochranný poměr pórů měl být 0,2 nebo vyšší, tzn. že nejméně 20 % ze všech pórů v betonu by nemělo být vyplněno kapilární vodou. U přibližně 70 % existujících betonových fasád je ochranný poměr pórů menší než 0,15. Odolnost betonu mrazu se výrazně liší v závislosti na typu povrchu betonového panelu (obr. 1) a roku výroby panelu. Jestliže je ochranný poměr pórů menší než 0,1, není beton ve finských povětrnostních podmínkách odolný mrazu a rozmrazování. Nejhorší je situace s odolností betonu mrazu na panelech s odhaleným kamenivem, na panelech s keramickým obkladem a na nenatřených betonech s otisky různých vzorů. Betonové fasády vyrobené před rokem 1980 mají obecně horší materiálové vlastnosti vztahující se k odolnosti mrazu a rozmrazování než fasády postavené později.

Průběh vlhkosti a stav prostředí mají významné dopady na vznik a rozvoj poškození betonu mrazem. Např. vznik napětí v betonu fasády závisí na vhodném voděodolném nátěru a převládajících směrech větru během dešťů [7]. Většina případů nedostatečné odolnosti mrazu nevede k pokročilým nebo rozsáhlým poškozením mrazem. Po-

dle databáze bylo při vizuálních prohlídkách na 42,7 % finských betonových fasád nalezeno poškození mrazem. Ve 35,4 % se jednalo o lokální poškození a v 7,3 % byla poškozena významná plocha fasády.

Koroze výztuže

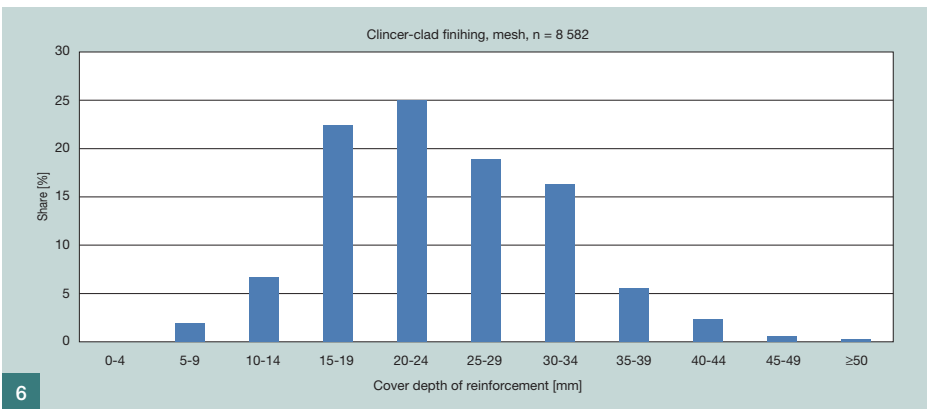
Tloušťka krycí vrstvy výztuže se významně mění. Je ovlivněna výrobou betonových panelů, zejména kvalitou lidské práce. Tloušťka krycí vrstvy se pohybuje od 0 až přes 50 mm. Při zvažování vhodného postupu opravy betonové fasády je krycí vrstva s tloušťkou menší než 10 mm ve většině případů kritická. Zhruba 5 až 10 % všech fasád má malou tloušťku krycí vrstvy. Ve většině případů mají nejmenší tloušťku krycí vrstvy betonové fasády s keramickým obkladem, kde je výztuž často umístěna přímo za obkladovou deskou.

Karbonatace betonu není na fasádě vidět. Určení hloubky karbonatace betonu vyžaduje vždy odběr vzorku a laboratorní zkoušky. Nejběžnější hloubka karbonatace betonových fasád postavených před rokem 1970 je dnes okolo 10 až 20 mm, pokud byl použit beton běžné kvality.

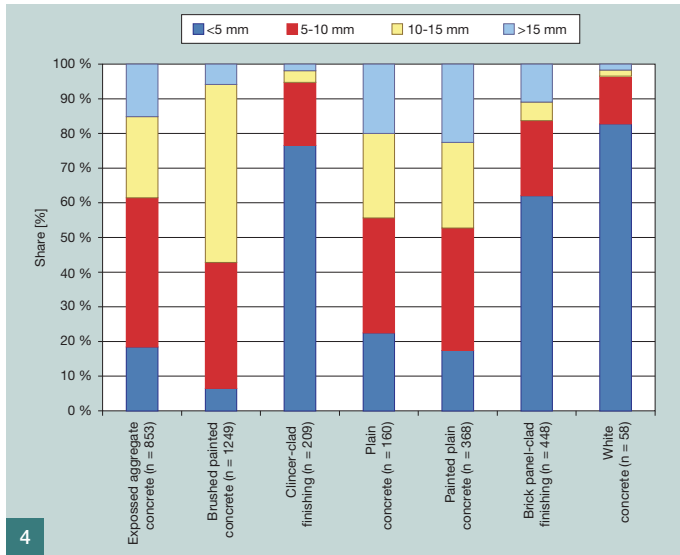
Betonové fasády s keramickým ne-



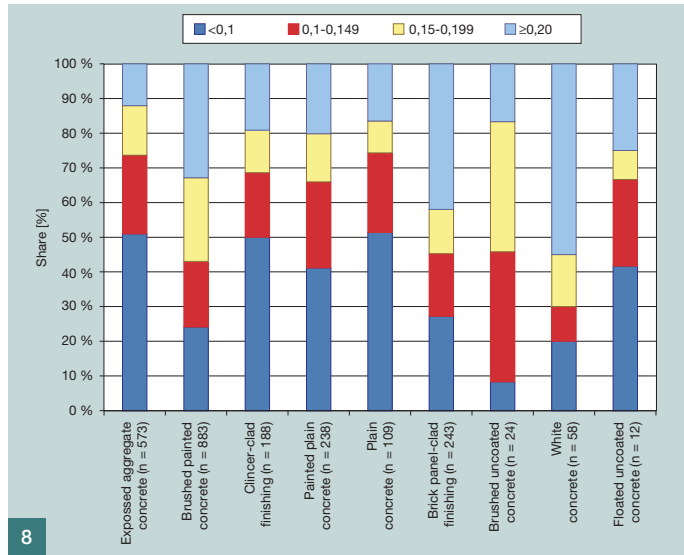
5



6



4



8

bo cihelným obkladem mohou karbonatovat jen skrze spáry mezi jednotlivými prvky obkladu. Ochranné nátěry používané na betonové fasády jsou odolné vůči difúzi oxidu uhlíku.

Karbonatace betonu působí na výztuž mnoha betonových fasád postavených v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století. Takže koroze výztuže v nich dnes probíhá už dvacet až třicet let.

Podle údajů z databáze 59,2 % finských betonových fasád vykazuje viditelné poškození koroze výztuže při posuzování stavu konstrukce. 53,5 % z nich je lokálního charakteru a jen 5,7 % má širší rozsah. Ke korozi výztuže dochází při postupu karbonatace betonu při malé tloušťce krycí vrstvy výztuže. Mnohem více případů poškození betonu koroze výztuže je viditelných v přímořských oblastech než ve vnitrozemí, což je dáno vyšším ročním úhrnem dešťových srážek v těchto oblastech [8].

Dopady převládajícího počasí a klimatických změn

Nehledě na podobné materiálové vlastnosti betonu na různých fasádách bylo možno v některých případech rozlišit, že oba druhy poškození, poškození mra-

zem i koroze výztuže, se objevují pouze na fasádách otočených k jihovýchodu až západu. Studium převládajících směrů větrů během dešťových srážek ukázalo, že během nich výrazně převyšují větry z jižních směrů.

Podrobné analýzy posuzovaných betonových konstrukcí ukázaly, že nejmenší počet zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů, po kterých lze detekovat počáteční stadium mrazového poškození betonu, je obecně 210, v pobřežních oblastech vzniká poškození mrazem už po 207 cyklech ($t \leq -5 \text{ }^\circ\text{C}$) a ve vnitrozemí po 270 až 277 cyklech. Je tedy vidět, že počet zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů pro ten samý rozsah poškození je v pobřežní oblasti významně nižší než ve vnitrozemí. Protože výskyt poškození mrazem je mnohem častější v pobřežních oblastech než ve vnitrozemí, je množství dešťových srážek dopadajících na fasádu pro poškození významnější než počet zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů.

Podle studií FMI zabývajících se změnami klimatu se životnost existujících betonových fasád bude zřejmě snižovat, protože množství dešťových srážek a vlhkosti obsažené ve vzduchu bude v budoucnosti narůstat. Postup koro-

ze výztuže a poškození betonu mrazem úzce závisí na množství vlhkosti obsažené v betonu.

MOŽNOSTI NÁPRAVY SOUČASNÉHO STAVU

Ve Finsku jsou metody renovace betonových fasád rozděleny do tří základních kategorií (principy oprav):

- ochranné metody oprav,
- obklady,
- demolice vnější vrstvy fasády a náhrada novou.

Ochranné opravné metody jsou vhodné hlavně pro konstrukce, u kterých se poškození začalo rozvíjet teprve před nedávnem a není ještě příliš velkého rozsahu. Nejužívanějším ochranným postupem je při opravách finských betonových fasád nátěr.

Ochranné nátěry lze používat, pokud je konstrukce ještě v dobrém stavu, ale vyhodnocení podmínek a stavu konstrukce ukazuje na možnost budoucího poškození, např. nedostatečná odolnost mrazu. Beton, který neobsahuje vzduch, nebo je vyroben z kameniva s rizikem vzniku ASR, nebo postupující karbonatace povrchových vrstev betonu by mohla brzy zasáhnout oblast výztuže – to jsou příklady stavů, kdy může

Literatura:

- [1] *Vainio T., Lehtinen E., Nuutila H.*, 2005: Building and renovation of facades, VTT, Tampere, 26 p. + app. 13 p. (in Finnish)
- [2] Statistics Finland, 2011, www.tilastokeskus.fi, Reference date Dec. 27th 2011, (in Finnish)
- [3] *Köllö A.*, 2011: Degradation induced repair need of concrete facades, Tampere TU, SE, Master's Thesis, 74 p. + app 36 p. (in Finnish)
- [4] Condition Investigation Manual for Concrete Facade Panels, 2002, Helsinki, Concrete Association of Finland BY 42, 178 p. (In Finnish)
- [5] *Jylhä K., Ruosteenoja K., Räisänen J., Venäläinen A., Tuomenvirta H., Ruokolainen L., Saku S., Seitola T.*, 2009: The changing climate in Finland: estimates for adaptation studies. ACCLIM project report 2009. Finnish Meteorological Institute. Reports 2009:4, 102 p. (in Finnish)
- [6] *Jylhä K., Ruosteenoja K., Tietäväinen H.*, 2011: Weather data for building physical test years in present climate and projections for future changes. FMI Reports. 27 p. (in Finnish)
- [7] *Lahdensivu J., Tietäväinen H., Pirinen P.*, 2011: Durability properties and deterioration of concrete facades made of insufficient frost resistant concrete, Nordic Concrete Research Publication no. 44, pp. 175–188
- [8] *Lahdensivu J., Tietäväinen H., Pirinen P.*, 2011: Corrosion of reinforcement in existing concrete facades, 12th Inter. conf. on durability of building materials and components, Porto, Portugal, pp. 1155–1162



Obr. 4 Podíl průměrné hloubky karbonatace betonu při různých typech povrchů fasádních panelů ($n = 3\ 345$ vzorků) ■ Fig. 4 Share of average carbonation depth in different surface types ($n = 3\ 345$ samples)

Obr. 5 Karbonatace zasáhla velkou část výztuže, přesto je poškození korozí výztuže viditelné pouze zřídka ■ Fig. 5 Carbonation has achieved reinforcement widely. Despite of that wide spread visual corrosion damage is rather rare

Obr. 6 Příklad rozdělení četnosti různých tloušťek krycí vrstvy výztuže na panelech s cihelným obkladem ($n = 8\ 582$ měření) ■ Fig. 6 Example of distribution of cover depths in clinker clad panels ($n = 8\ 582$ measurements)

Obr. 7 Pokročilé poškození rohu fasádního panelu mrazem ■ Fig. 7 Far advanced frost attack curls the edge of a facade panel

Obr. 8 Rozdělení poměrů množství pórů v povrchových vrstvách fasádních panelů s různou povrchovou úpravou ($n = 2\ 310$ vzorků) ■ Fig. 8 The distribution of protective pore ratio in different surface finishing of concrete panels ($n = 2\ 310$ samples)

být ochranný nátěr vhodným řešením pro odložení počátku rozvoje poškození betonu. Je však třeba zdůraznit, že ochranný nátěr nemůže být funkční tak, jak se očekávalo, pokud se už poškození betonu začalo rozvíjet. Životnost ochranného nátěru betonové fasády je obvykle 20 až 25 let.

V mnoha případech jsou na fasádách diagnostikována lokální poškození, která lze místně vyspravit. Takové místní opravy jsou tradičními zásahy napravnými lokální poškození všech druhů betonových konstrukcí. Může to být jednoduchý postup ve spojení s různými nátěrovými systémy nebo naopak může zahrnovat náročnou opravu. V druhém případě by měla být vyšetřena i místa, kde ještě není poškození patrné, a případně provedeny vhodné preventivní zásahy.

Základní myšlenkou místní opravy v případě poškození betonu mrazem je odstranění poškozeného betonu a nahrazení v celém odstraněném objemu novým materiálem. Lze použít monolitický nebo stříkaný beton, případně speciální vysprávkové malty. Povrch opravované plochy by měl být upraven vhodným postupem v souladu s okolní stávající plochou fasády. V případě na-

tíraných betonových fasád by měla být nově natřena celá plocha fasády.

Místní oprava je vhodný postup, pouze pokud je rozsah poškození velmi malý, např. malé ojedinělé začínající projevy rozpojování materiálu, a opravné práce jsou snadné a jednoduché. Místní opravy jsou vhodné, pokud v zásadě chceme i po opravě zachovat stávající vzhled budovy. Životnost běžných oprav lokálního rozsahu je okolo 20 až 30 let.

Je-li poškození stávajících betonových konstrukcí opravu vážné a rozsáhlé, ochranné opravné metody nejsou dlouhodobě účinné. V tom případě bývají fasádní panely překryty tepelnou izolací, která je dále zakryta různými tenkovrstvými fasádními panely atd. V případě, kdy jsou fasádní panely poškozeny tak, že by připojení nových vnějších vrstev nebylo bezpečné, jsou vnější vrstvy původních fasádních panelů odstraněny a nahrazeny novou konstrukcí, např. vrstvou tepelné izolace překrytou omítkovým systémem.

ZÁVĚRY

Materiálové vlastnosti betonu stávajících konstrukcí ve vztahu k odolnosti mrazu a tloušťka krycí vrstvy výztuže v betonu jen zřídka splní požadavky finských ná-

rodních stavebních norem. Avšak bez ohledu na relativně špatné trvanlivostní vlastnosti betonu jsou viditelná pokročilá a rozsáhlá poškození betonu mrazem a poškození od koroze výztuže překvapivě vzácná.

Obsah vlhkosti v betonu a expozice vůči světovým stranám mají významný dopad na skutečné poškození betonu. Poškození se objevuje převážně na fasádách, které jsou častěji a více smáčeny deštěm. Ve Finsku jsou to horní části jižních a západních fasád. Změny klimatu budou mít zhoršující vliv na životnost stávajících betonových fasád, protože množství dešťových srážek bude v budoucnosti vzrůstat. V mnoha případech, zvláště ve vnitrozemí, místní opravy s ochrannými nátěry prodlouží životnost fasád o 20 až 30 let, budou-li tato opatření provedena dostatečně včas.

Ve Finsku jsou opravné metody používané na fasády rozděleny do tří kategorií: ochranné metody, obklady a odstranění vnější betonové vrstvy a její nahrazení novou konstrukcí. Ochranné metody jsou vhodné pouze tam, kde se poškození teprve začalo rozvíjet a ještě není příliš rozšířeno. Možné ochranné metody pro betonové fasády lze rozdělit na: nátěry přes staré nátěry, ochranné nátěry po odstranění zbytků starých nátěrů a místní opravy s ochranným záverečným nátěrem.

Jsou-li stávající konstrukce vážně a rozsáhle poškozeny, metody ochranných nátěrů nejsou dostatečně dlouhodobě účinné. V tom případě je třeba přistoupit k zásadnějším metodám oprav, které většinou pozmení vzhled fasády. Většina z nich zahrnuje obklady nebo zcela nové vrstvy nahrazující poškozené vrstvy betonu. Obklady zastaví nebo zpomalí postup rozvoje poškození.

Dr. Tech. Jukka Lahdensivu
Tampere University of Technology
Tekniikkankatu 12
FI – 33101 Tampere
e-mail: jukka.lahdensivu@tut.fi

