

Výber materiálov na opravu a ochranu betónových konštrukcií

Juraj Bilčík

Oprava betónových konštrukcií – úprava povrchu betónu a výstuže – reprofilačná malta – ochranný náter

Aj na takom trvanlivom materiáli, ako je betón, sa prejavujú poruchy od účinkov obklopujúceho prostredia, ktoré si vyžadujú opravu alebo rekonštrukciu stavebného objektu. Táto skutočnosť sa výraznejšie prejavuje u konštrukcií, ktoré majú malé prierezové rozmery a veľkú plochu vystavenú obklopujúcemu prostrediu (chladiace veže, nádrže, komíny a pod.). Nevyhnutný predpoklad úspešného zásahu je dôkladné preverenie skutkového stavu a analýza príčin porúch. Vzhľadom na charakter a využívanie týchto konštrukcií je ich trvanlivosť najviac ohrozená objemovými zmenami od teplotných účinkov a koróziou betónu a výstuže.

Rozsah rekonštrukčných opatrení je veľmi široký. Siahajú od jednoduchého náteru až ku komplikovanému a rozsiahlemu zosilňovaniu. Príspevok je zameraný na technologické postupy a výber materiálov pre opravu a ochranu poškodených betónových konštrukcií. Špecifickým rysom opráv železobetónových konštrukcií, najmä ak ide o nápravu účinkov korózie je skutočnosť, že práce a parametre používaných materiálov nie sú podchytené záväznými normami. Definovanie technických parametrov týchto materiálov má prispieť k objektívnejšiemu výberu a lepšej orientácii užívateľov v širokej ponuke.

Technologický postup opravy

Opravou rozumíme proces zabezpečujúci návrat k bezporuchovej prevádzke a vytvorenie podmienok pre predĺženie životnosti konštrukcie.

Oprava betónových konštrukcií pozostáva najčastejšie z týchto technologických postupov:

- ♦ úprava povrchu betónu a výstuže,
- ♦ ochrana výstuže pred koróziou,
- ♦ reprofilácia poškodeného betónového povrchu,
- ♦ sekundárna ochrana betónu.

1 Úprava plôch pred opravou

Trvanlivosť opravy závisí v značnej miere od súdržnosti nového a pôvodného betónu. K tomu je potrebné, aby betónový podklad a výstuž boli dostatočne pevné a čisté.

Čistenie poškodených betónových plôch musí zabezpečiť:

- ♦ očistenie betónovej plochy od zvyškov náterov, impregnačných prostriedkov a ostatných nečistôt;
- ♦ odstránenie uvoľnených, mechanicky poškodených častí a zvetraných vrstiev na pevný podklad;
- ♦ odstránenie chloridmi znehodnoteného betónu (pri obsahu chloridov >1% obsahu cementu).

Najlepšie výsledky pri čistení betónových plôch a odstraňovaní uvoľneného betónu sa dosahujú *usmerným vodným lúčom* s tlakom nad 50 MPa. Zvýšená teplota vody zlepšuje čistiaci účinok tlakovej vody. Tlakovou vodou sa vyplaví aj časť chloridov z okolitého betónu.

Na odstránenie starých náterov je potrebné pridať do vody *abrazívny materiál* (napr. kremičitý piesok) na zvýšenie účinnosti alebo priamo použiť *otryskávanie pieskom*. Pre obnaženie koro-

dujúcej výstuže sa nevyhne použije sekáča a kladiva alebo elektrického príklepového kladiva.

Stupeň korózneho napadnutia a zvolený materiál na reprofiláciu betónového povrchu rozhodujú o požiadavkách na *úpravu povrchu výstuže*. U nosnej konštrukcie, ktorá je napadnutá koróziou výstuže na veľkých plochách (u plošných prvkov), resp. veľkých dĺžkach (u tyčových prvkov) treba pri úprave jej povrchu zohľadniť aj vplyv porušenia súdržnosti medzi betónom a výstužou na bezpečnosť konštrukcie. Požadovaný stupeň čistoty povrchu výstuže závisí najmä od toho, či protikoróznou ochranu vytvárame materiálom na báze cementu alebo aj náterom na výstuž. V prvom prípade bude výstuž po oprave uložená v alkalickom prostredí, takže ju stačí zbaviť hrubých produktov korózie. V druhom prípade sú požiadavky na očistenie povrchu výstuže prísnejšie. Požadovaný stupeň čistoty pred nanosením náteru býva najčastejšie Sa 2 1/2 podľa DIN 55 928 [7], čo zodpovedá približne stupňu Cr 2 až 3 podľa ČSN 03 8221 [8]. Na očistenie korodujúcej výstuže sa používajú mechanické metódy – oceľová kefa alebo kotúč a otryskávanie pieskom. V prípade potreby je možné mechanické metódy kombinovať použitím chemického pretvárača korózie.

2 Ochrana výstuže pred koróziou

Ochrana proti korózii obnaženej a očistenej oceľovej výstuže môžeme dosiahnuť v zásade dvomi spôsobmi:

- ♦ vytvorením alkalického prostredia dostatočne hrubou vrstvou reprofilačného materiálu na báze cementu;
- ♦ náterom výstuže podľa princípov obvyklých u oceľových konštrukcií alebo kombináciou oboch spôsobov.

Náter výstuže nie je potrebný, ak vytvoríme *novú betónovú kryciu vrstvu*, ktorej hrúbka spĺňa požiadavky čl. 11.2.1 ČSN 73 1201 (Zmena 2) [9] alebo ešte lepšie čl. 4.1.3.3 Eurocodu 2 [10].

V opačnom prípade je výstuž potrebné chrániť aj náterom.

Hlavné technické požiadavky na zaschnutý náterový film sú:

- ♦ účinná antikoročná ochrana,
- ♦ dobrá prídržnosť na oceľ,
- ♦ minimálne obmedzenie súdržnosti natretej výstuže s betónom,
- ♦ mrazuvzdornosť a stálosť v alkalickom prostredí,
- ♦ dostatočná pružnosť v prípade, že výstuž sa po nátere ohýba.

V prípade, že náter výrazne znižuje súdržnosť ocele s betónom, treba kotvenie zabezpečiť *koncovou úpravou* alebo priečne privarenými prútmi, prípadne použiť *zvárané siete*.

3 Reprofilácia betónového povrchu

Pri oprave zameranej na obnovu spoľahlivosti konštrukcie používame rovnaký materiál ako pôvodný, tzn. betón, a to ukladaný do debnenia alebo ako *torkrét*.

O tom či na reprofiláciu použijeme cementovú maltu alebo betón rozhoduje hrúbka opravovanej vrstvy. Maximálne zrno kameniva by malo byť menšie ako 1/3 hrúbky novej vrstvy.

V posledných rokoch sa rozšírilo používanie *polymércementových kompozitov*, čo sú v podstate cementové malty (betóny) s prídavkom disperzií syntetických polymérov, ktoré priaznivo ovplyvňujú vlastnosti týchto kompozitov v čerstvom i zatvrdnutom stave.

Pri porovnaní s cementovými kompozitmi majú väčšiu pevnosť v ťahu pri menšom module pružnosti, lepšiu prídržnosť k pôvodnému betónu, väčšiu hodnotu teplotného súčiniteľa dĺžkovej rozťažnosti a menšiu ohňovzdornosť [1]. Charakteristické vlastnosti polymércementových kompozitov sú znázornené na obr. 1.

Nakoľko zloženie polymércementových kompozitov nie je väčšinou známe, resp. viazané normovými predpismi, je potrebné ich použitie podmieniť základnými skúškami.

Pre reprofilačnú hmotu požadujeme mechanicko-fyzikálne vlastnosti prispôbené vlastnostiam podkladového betónu. Najčastejšie sa uvádzajú tieto hodnoty:

- ◆ pevnosť v tlaku po 28 dňoch min. 25 MPa
- ◆ v ťahu za ohybu min. 5 MPa
- ◆ prídržnosť k podkladu min. 1,5 MPa
- ◆ mrazuvzdornosť min. 25 cyklov
- ◆ modul pružnosti nižší ako u podkladového betónu
- ◆ teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti max. $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- ◆ zmršťovanie po 90 dňoch max. 1,2 ‰
- ◆ odolnosť proti tvorbe zmršťovacích trhlin minimálne do hrúbky krycej vrstvy.

Miera zmršťovania reprofilačnej hmoty je zvlášť významná nakoľko zmršťovanie podkladového betónu je ukončené, kým u opravnej hmoty iba začína. Priebeh zmršťovania polymércementových kompozitov v čase znázorňuje obr. 2.

Pri rovnocenných materiáloch uprednostňujeme jednozložkovú suchú zmes pred viaczložkovými z dôvodu jednoduchšej prípravy na stavbe.

Medzi významné vlastnosti reprofilačnej polymércementovej malty patrí aj vytvorenie *alkalického prostredia pre výstuž*. K poklesu alkality pod hodnotu pasivácie ocele ($\text{pH} < 9$) dochádza najčastejšie karbonatáciou [3]. Merania karbonatácie [1] ukázali, že s narastajúcim objemom polymérnych prísad sa urýchľuje aj postup karbonatácie v polymércementových kompozitoch. Táto skutočnosť vedie k záveru, že použitie polymércementových kompozitov by malo byť spojené so sekundárnou ochranou betónu s veľkým difúznym odporom proti prenikaniu CO_2 .

4 Sekundárna ochrana betónu

Betón je pórovitý stavebný materiál, všetky korózne procesy v ňom sú vyvolané plynmi alebo tekutinami prenikajúcimi cez ka-

pilárny pórový systém. Schopnosť betónu odolávať účinkom obklopujúceho prostredia závisí v rozhodujúcej miere *od nepriepustnosti povrchových vrstiev betónu*. Najvýhodnejšie je urobiť hutnú, málo priepustnú betónovú vrstvu prostriedkami primárnej ochrany (nízky vodný súčiniteľ, dôkladné zhutnenie, predĺžené ošetrovanie apod.). V prípade, že sa tak nestalo alebo táto ochrana je vzhľadom na agresivitu prostredia nepostačujúca, resp. ak ide o opravený povrch, betón vyžaduje sekundárnu ochranu povrchovou úpravou.

Povrchová úprava betónu má najčastejšie tieto úlohy:

- ◆ zabrániť prenikaniu vody do betónu,
 - ◆ účinne spomaliť postup negatívne pôsobiacich plynov ako CO_2 , SO_2 , prípadne ďalších oxidov z atmosféry a zároveň umožniť vysychanie betónu,
 - ◆ úprava musí byť trvanlivá v alkalickom prostredí betónu, odolná voči klimatickým podmienkam a UV žiareniu,
 - ◆ pohľadové plochy majú vytvárať trvalý estetický dojem.
- V zásade rozlišujeme tri metódy povrchovej úpravy betónu:
- ◆ impregnáciu, pri ktorej impregnačná hmota utesní všetky z povrchu betónu prístupné otvory a kapiláry, ako aj časť pórov v povrchovej vrstve betónu,
 - ◆ náter, ktorým vytvoríme súvislý povlak na povrchu betónu,
 - ◆ hydrofobizáciu.

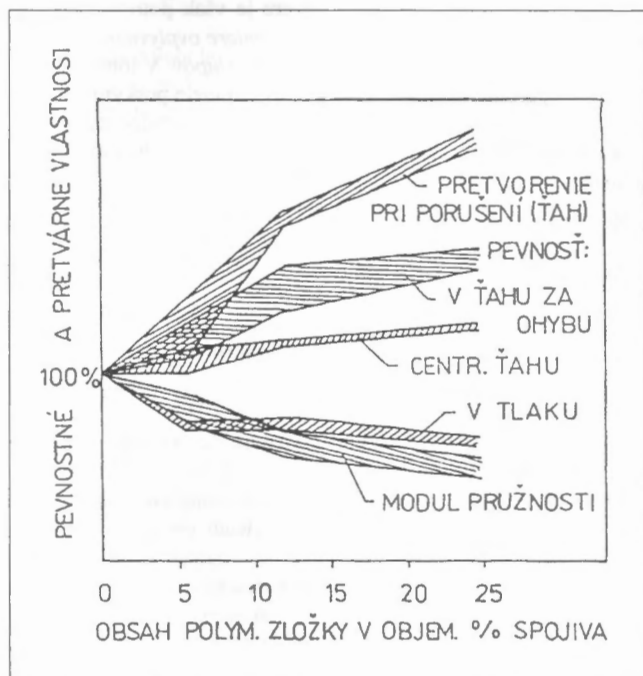
Z hľadiska ochrany betónu a v ňom uloženej výstuže je najvýhodnejšia kombinácia uvedených metód.

Pri posúdení účelnosti náteru zohľadňujeme predovšetkým ochrannú účinnosť a funkčnú životnosť náteru.

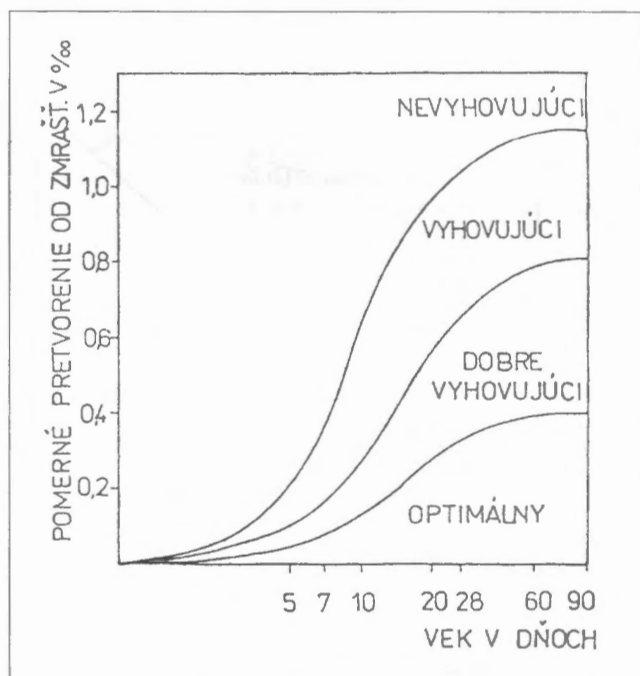
Ako parameter ochrannej účinnosti náterov voči prenikaniu plyných látok sa udáva koeficient difúzneho odporu $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ pre vodnú paru a pre oxid uhličitý μ_{CO_2} . Koeficient μ je bezrozmerné číslo udávajúce koľkokrát je difúzny odpor náterového filmu väčší ako difúzny odpor vzduchu rovnakej hrúbky. Dobrý betón má za normálnych pomerov hodnotu μ okolo 100. Ak prenásobíme koeficient difúzneho odporu hrúbkou náteru s , získame hodnotu ekvivalentnej difúznej hrúbky S_D . Hodnota S_D udáva ekvivalentnú hrúbku vrstvy vzduchu v metroch.

Ekvivalentné difúzne hrúbky vybraných povrchových úprav betónu pre vodnú paru sú uvedené v tab. 1.

Ako už bolo uvedené, povrchová úprava by mala umožňovať odparovanie vody z povrchových vrstiev betónu, čo vedie k požiadavke $\mu_{\text{H}_2\text{O}} < 20\ 000$, resp. $S_D < 2$ m. V prípade tenkostenných



Obr. 1 – Typické vlastnosti polymércementových kompozitov v závislosti od obsahu polymérnej zložky [1]



Obr. 2. – Priebeh zmršťovania polymércementových kompozitov [2]

Tab. 1 – Ekvivalentné difúzne hrúbky pre vodnú paru [2]

Materiál	μ_{H_2O}	s	S_D
Vápenná omietka	10	20 mm	0,20 m
Betón	50	20 mm	1,00 m
Minerálna farba	10^2	100 μ m	0,01 m
Siloxánová farba	10^4	100 μ m	1,00 m
Akrylátová farba	10^4	100 μ m	1,00 m
Polyuretánová farba	$3 \cdot 10^4$	200 μ m	6,00 m

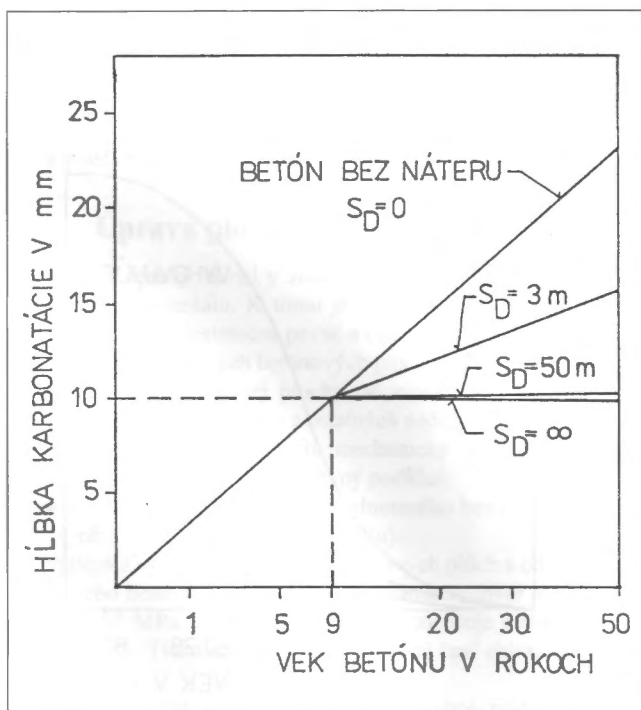
konštrukcií, ktoré sú z jednej strany vystavené účinkom vodnej pary (napr. chladiace veže), môže byť pre vnútorný povrch požiadavka na zvýšenú ekvivalentnú difúznu hrúbku voči vodnej pare ($S_D > 10$ m). Vysychanie betónu musí v tomto prípade umožniť vonkajší povrch.

Prenikanie CO_2 a SO_2 , spojené s karbonatáciou a sulfatáciou, sú najčastejšie príčiny neutralizácie povrchových vrstiev betónu, a tým aj príčinou korózie výstuže v betóne. Z uvedeného dôvodu má povrchová úprava mať čo najväčší odpor proti prenikaniu týchto oxidov. Ekvivalentné difúzne hrúbky pre CO_2 sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 – Ekvivalentné difúzne hrúbky pre CO_2 [2]

Materiál	μ_{CO_2}	s	S_D
Betón	350	3 mm	1 m
Minerálna farba	$2 \cdot 10^4$	100 μ m	2 m
Siloxánová farba	$2 \cdot 10^6$	100 μ m	200 m
Akrylátová farba	$2 \cdot 10^6$	100 μ m	200 m
Polyuretánová farba	10^6	200 μ m	200 m

Na obr. 3 je znázornený vplyv hodnoty S_D na postup karbonatácie betónu.



Obr. 3 – Postup karbonatácie betónu bez náteru a s náterom po 9 rokoch užívania konštrukcie v závislosti od hodnoty S_D

Z obrázku je zrejmé, že náter s hodnotou $S_D > 50$ m prakticky spôsobí zastavenie postupu karbonatácie betónu. Optimálnu ochranu betónu poskytuje náter s malou hodnotou S_D pre vodnú paru ($S_D < 2$ m) a veľkou hodnotou S_D pre CO_2 ($S_D > 50$ m). Požadovanú zábranu voči prenikaniu vody zabezpečí náter s nasiakavosťou $V_{30} = 0$ ml/30 min. (ČSN 73 2578) [11], resp. $W < 0,02$ kg·m⁻²·h^{-0,5} (DIN 52617) [12].

Vzhľadom na to, že povrchové vrstvy betónu sú vystavené veľkým teplotným rozdielom, požadujeme, aby nebol veľký rozdiel medzi teplotným súčiniteľom dĺžkovej rozťažnosti betónu a náteru.

Náter by mal byť použiteľný aj na vlhkú betónovú plochu. Táto vlastnosť spolu s malým difúznym odporom voči vodnej pare umožňujú využiť náter aj ako ošetrovací prostriedok na opravené plochy. Vzhľadom na tvar v úvode spomínaných vysokých inžinierskych konštrukcií (chladiace veže a komíny) je ťažko možné si predstaviť iný spôsob ošetrovania čerstvej reprofilačnej malty.

Vývoj v oblasti ochrany betónu nátermi smeruje k vývoju náterov, ktoré sú schopné preklenúť trhliny bez porušenia ochranného filmu. Zväčša ide o nátery viazané disperziami plastických látok s minimálnou hrúbkou 0,25 mm. Takéto nátery majú schopnosť prekryť trhliny šírky až 0,3 mm, čím silne obmedzujú prístup agresívnych látok k betónu a výstuži v trhlíne.

Záver

Vzhľadom na množstvo kritérií a požiadaviek ovplyvňujúcich rozhodovací proces pri oprave betónových konštrukcií nie je žiaduce vypracovať jednotný katalóg technologických postupov a zodpovedajúcich materiálov. Aj keď je takýto katalóg k dispozícii [4], zostáva vypracovanie optimálneho riešenia úlohov skúseného inžinier. Optimálne v tomto prípade znamená také realizovateľné riešenie, ktoré vyhovuje z technického hľadiska a ekonomickým možnostiam objednávateľa. Použitie nevhodných alebo nekvalitných materiálov skrýva v sebe viaceré riziká ako napr. náklady na opravu opravy, často spojené s potrebou odstrániť nevhodný materiál a opätovné obmedzenie alebo úplné prerušenie prevádzky objektu.

Bolo by pochopiteľne možné sformulovať aj ďalšie technické požiadavky ako pre reprofilačnú maltu, tak aj pre prostriedky sekundárnej ochrany. Aspoň v závere je však potrebné zdôrazniť, že kvalita opravy je v rozhodujúcej miere ovplyvnená kvalitou vykonania jednotlivých technologických postupov. V tomto ohľade majú preto nezastupiteľnú úlohu jednak garancie poskytované dodávateľom a s tým súvisiaci tlak na pracovníkov zodpovedných za vykonávané práce, ako aj priebežný systém kontroly kvality prác a materiálov vykonávaných nezávislou odbornou organizáciou.

Literatúra

- [1] Schorn H.: *Betone mit Kunststoffen und andere Instandsetzungsbaustoffe*. Ernst und Sohn Verlag, Berlin 1990, 208 s.
- [2] Harth H.-J.: *Handbuch Betonsanierung*. Ernst und Sohn Verlag, Berlin 1993, 185 s.
- [3] Bilčík J.: Prognózovanie životnosti železobetónových konštrukcií. *Inžénýrske stavby*, roč. 39 (1991), č.3, s. 74–77.
- [4] *Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen*. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin, 1990, 233 s.
- [5] *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB 90)*. Der Bundesminister für Verkehr, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1987, 158 s.
- [6] Bilčík J., Cesnak J.: *Poruchy a rekonštrukcie nosných sústav*. Skriptá SvF STU, ES STU, Bratislava, 1993, 148 s.

[7] **DIN 55 928 Teil 4** Korrosionsschutz von Stahlbauteilen durch Überzüge; Vorbereitung und Prüfung der Oberflächen. Beuth Verlag, Berlin, 1977, 25 s.

[8] **ČSN 03 8221-88** Ocelové výrobky; Metody úpravy povrchu před nátěrem, 12 s.

[9] **ČSN 73 1201 (Změna 2)** Navrhování betonových konstrukcí, 20 s.

[10] **ENV 1992-1-1 (Part 1)** Design of Concrete Structures. General Rules and Rules for Buildings, nemecké znenie. Beton-Kalender 1993, Ernst und Sohn Verlag, Berlin, 1993, s. 691-815

[11] **ČSN 73 2578-81** Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí, 4 s.

[12] **DIN E 52 617** Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen. Beuth Verlag, Berlin, 1987, 21 s.

Doc. Ing. Juraj Bilčík, CSc., Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Nebojme se ...

(7)

... stavařské angličtiny

E

E – earth

Ea – each (ve sloupci jednotek = "ks")

EAF – environmental assessment form

E.B. – elastomeric bearing

ECC – earth continuity conductor

EER – energy-efficiency ratio

EIS – environmental impact statement

EJ – expansion joint

E.L. – elastomeric laminated

ELCB – earth-leakage circuit-breaker

ENG/GEN – energy generator

E.P. – elastomeric plain

equipt – equipment

est. – estimated

EVT – equiviscous temperature

exc. – excavate

excav., excavn. – excavation

F

F – fan

FFL – finished floor level

F.G. – finished grade; finished ground

F.G.L. – finished ground level

F.I. – field inlet

fl. oz. – fluid ounce

F.M. – flanged to mechanical

fnds., founds. – foundations

fpm – feet per minute

FR – family room

FRC – fibre reinforced concrete

FRS – fire research station

fwd – forward

fwk. – formwork, falsework

G

gal. – gallon

GBGs – Good Building Guides

GC – general contract; government contract

glulam – glue laminated

GMAW – gas metal arch welding

GP – general provisions

gpm – gallons per minute

GRC – glass-reinforced concrete; glassfibre-reinforced cement

GRG – glassfibre-reinforced gypsum

GRP – glass reinforced plastic; glassfibre reinforced polyester, fibreglass

GTAW – gas tungsten arch welding

H

HBC – high-breaking capacity

HD – high density

HFRS – high float rapid setting

hgt – height

HPHW – high-pressure hot-water

hr – hour

HSE – Health and Safety Executive (UK)

HVAC – heating, ventilating, and air conditioning

hwy – highway

H.Y.S. – high yield steel

I

ID – internal diameter

inc. – including

inspec – inspection

INT – interior adhesive

inv., invt. – invert

IP – information paper

I/S – inside

J

JB – junction box

K

K – kitchen

L

L – live

LAN – local area network

Lav – lavatory

LD – low density

Leca – light expanded clay aggregate

LF – linear foot

lic. – license

lin. ft. – linear foot

LJT – longitudinal joint tie

LLF – light-loss factor

LMR – lift machine room

LO – lifting operations

LPG – liquified petroleum gas

LPHW – low pressure hot water

LR – living room

LS, L.S., L/S – lump sum

lt – left

LT – laundry trail

M

M – motor

M and E – mechanical and electrical

mat'l – material

matls – materials

MDF – medium-density fibreboard

mf – melamine-formaldehyde

mgr. – manager

M.H., M/H – manhole

MICC – mineral-insulated copper-covered

MIL – military specification

misc. – miscellanea

MLW – mean low water

Mo. – month

MOAT – Methods of Assessment and Testing

moder – moderate

M.R. – multi-rotational

MRT – mean radiant temperature

M.S. – mild steel

MSDS – material safety data sheet

MSL – mean sea level

muf – melamine-urea formaldehyde

MURK – manual for uniform record keeping

N

N – neutral

NBS – National Bureau of Standards (USA); National Building Specification

NC – noise criteria

NDT – non-destructive testing

n.e. – not exceeding

NM cable – nonmetallic sheathed cable

NMC cable – nonmetallic corrosion-resistant cable

nom. – nominal

NR – noise rating

O

O.C. – on center

O.G.L. – Original Ground Level

O.P.C. – ordinary Portland cement

O.Q. – ordinary quality