

FUNKCE OCHRANNÝCH NÁTĚRŮ NA BETONOVÝCH PODKLADECH, PROBLEMATIKA JEJICH TLOUŠŤKY A MOŽNOSTI JEJÍHO PŘÍMÉHO MĚŘENÍ ■ FUNCTIONS OF PROTECTIVE COATINGS OF CONCRETE STRUCTURES ESPECIALLY IN RELATION TO THEIR THICKNESS AND POSSIBILITIES OF ITS DIRECT MEASUREMENTS

Vítězslav Vacek, Michaela Kostecká

Článek se zabývá podmínkami funkce ochranných nátěrů betonových konstrukcí, zejména ve vztahu k jejich tloušťce. Na příkladu betonových podlah hromadných garáží ukazuje, jak je možno mikroskopicky přímo měřit výslednou tloušťku provedeného nátěru, komentuje zjištěné hodnoty a na jejich základě porovnává skutečnou funkční způsobilost s předpoklady. Zabývá se vlivem typu nátěrové hmoty, podmínek provádění a způsobu přípravy podkladu na variabilitu výsledné tloušťky nanesené vrstvy. ■ The article describes functions of protective coating of concrete structures applied under different conditions especially in relation to their thickness. The article uses as an example a mass concrete garage floor and shows how it is possible to directly microscopically measure the resulting thickness of the coating, comments on the values as a basis for comparing the actual performance and the prerequisites. It also deals with the influence of the type of coat, the conditions of implementation and the preparation of the substrate on the variability of the resulting thickness of the applied layer.

Ochranné nátěry se používají v podmínkách, kde samotná betonová konstrukce není schopna dostatečně dlouho, nebo z jiného hlediska, uspokojivě odolávat provozním podmínkám, spojeným často s agresivitou prostředí. Ta-

kové situace vznikají poměrně často v souvislosti s namáháním vodou nebo agresivními vodnými roztoky, změnami teploty a také do určité míry mechanickým namáháním povrchu. Žádána betonová konstrukce není prosta trhlin, ať již spojených s procesy hydratace cementu, nebo vyvolaných účinky následného zatěžování. Šířka a četnost trhlin jsou důležitými parametry z hlediska trvanlivosti betonové konstrukce. Zásadně ovlivňují pasivační schopnost cementového betonu ve vztahu ke korozi ocelové výztuže, neboť téměř každá betonová konstrukce nějakou ocelovou výztuž obsahuje.

ODOLNOST ŽELEZOBETONU A JEHO DEGRADACE

Za běžných podmínek je převládajícím mechanismem porušování železobetonu nárůst objemu korodující výztuže. Jedná se dominantně o chemickou reakci limitovanou nezbytnými podmínkami. Základními z nich jsou přítomnost železa – to je převažujícím prvkem ve výztužné oceli a přístup kyslíku, jako oxidačního činidla, jehož zdrojem je především vlhkost a voda. Další nezbytnou podmínkou je stupeň alkality prostředí, který bývá uváděn hodnotou $\text{pH} < 9,5$. Důležitou podmínkou je také možnost transferu, tzn. odvádění korozních zplodin a přísun nových reagentů do aktivní zóny.

Koroze železa vyvolává v betonu vnitřní tahy, mnohonásobně překračující jeho tahovou pevnost. Vznikají tak trhliny podél výztuže a následně úplně odpadá krycí vrstva betonu (obr. 1). Nakonec odpadnou i několikrát přeměněné vrstvy oxidů železa, zmenší se profil výztuže a významně sníží jeho soudržnost s betonem (obr. 2).

V podmínkách agresivního prostředí může být tento základní proces ještě akcelerován přítomností agresivních roztoků, které urychlují korozní procesy železa nebo také přispívají ke korozi samotného cementového betonu.

Ve venkovním prostředí to bývaly ještě nedávno kyselé deště, zanedbatelný není ani účinek velmi měkké vody z dešťových nebo sněhových srážek a samozřejmě účinky mrazu. V oblasti staveb pro dopravu je mimo uvedené velmi významným účinek používaných chemických rozmrazovacích látek. Do jisté míry se projevují i účinky biologického napadení, které je ovšem převážně druhotné.

Snížení odolnosti a degradace železobetonu jsou za běžných podmínek bez extrémního chemického namáhání převážně spojeny s karbonatací betonu, demonstrovanou poklesem pH z původních cca 12 pod 9,5 a přítomností (nejlépe střídavou) vlhkosti nebo vody.



OCHRANNÉ NÁTĚRY

Ochranné nátěry na betonové konstrukce jsou jednou skupinou ze škály sekundárních ochranných systémů. Ochranné nátěry, popř. v robustnějším provedení – stěrky, jsou vlastně povlaky na povrchu betonových konstrukcí, které výrazně zpomalují jejich další karbonataci (brání vnikání vzdušného CO₂ do betonu) a plní do určité míry i hydroizolační funkci, tzn. brání také pronikání vlhkosti a vody, které jsou bohatým zdrojem kyslíku, do betonu.

Podle účelu použití a druhu materiálu také mají větší či menší mechanic-

kou odolnost, odolnost proti účinkům venkovního prostředí (např. UV záření apod.).

K charakteristikám betonu jako materiálu patří mj. i jeho pórovitost a vysoký obsah vzduchu. Proto je na ochranné nátěry obvykle kladen i specifický požadavek na dostatečnou propustnost pro vodní páru, neboť jinak by kolísání pórových tlaků v souvislosti se změnami teploty okolního prostředí i betonu samotného vedlo ve většině případů k jejich separaci od podkladu, porušení a nakonec úplné ztráty ochranné funkce. Tato záležitost někdy bývá zkráceně označována jako nutnost betonu dýchat – vyměňovat si vlhkost s okolím apod.

Z hlediska plnění ochranné funkce tedy musí nátěr s betonem přiměřeně spolupůsobit a vytvářet mu elastickou ochranu, která zabrání vnikání agresivních látek do jeho trhlin. Nátěr by tedy měl být natolik pružný, aby bez porušení umožnil pohyby betonového podkladu v podmínkách daného prostředí.

Pokud jde o mechanickou odolnost ochranného nátěru, dělí se podle ní zpravidla nátěrové materiály do skupin pro povrchy vystavené pouze vnějšímu prostředí (vlivům povětrnosti), které nejsou pochozí ani pojížděné, a na materiály zatížené výrazně mechanicky, např. pojezdem vozidel, pro vnitřní nebo venkovní expozici.

V této souvislosti je třeba upozornit, že mechanické zatížení nemusí být spojeno pouze s pojezdem vozidel nebo chůzí lidí. Např. námraza nebo ledovka může znamenat pro jinak mechanicky nezatěžované nátěry na betonových podkladech velmi nepříznivý účinek a riziko jejich porušení (obr. 3).

Pro plnění ochranné funkce nátěru je nezbytná jeho celistvost, ale také přiměřená tloušťka. Ochranné schop-

nosti jednotlivých nátěrových materiálů jsou charakterizovány tzv. difuzními koeficienty, z nichž jsou prakticky důležité koeficienty pro vodní páru a CO₂. S rostoucí tloušťkou vrstvy nátěru roste i její nepropustnost, což není v případě vodní páry právě žádoucí. Určitá tloušťka je ovšem ve vazbě na otěruvzdornost a elasticitu podmínkou dostačené mechanické odolnosti a schopnosti pružné deformace, tzn. překlenutí trhlin v betonovém podkladu.

Správné vyvážení těchto vesměs protichůdných požadavků je podmínkou dosažení jak potřebné životnosti nátěru, tak jeho způsobilosti plnit účinně ochrannou funkci.

PODLAHY HROMADNÝCH GARÁŽÍ

Hromadné garáže jsou z hlediska agresivity prostředí ve vztahu k betonovým konstrukcím velmi namáhaným typem konstrukcí. Jejich vnitřní prostředí je zejména v přechodném a zimním období zatíženo velkým množstvím vzdušné vlhkosti a vody s obsahem chemických rozmrazovacích látek. Z hlediska kategorizace vnitřního prostředí jde tudíž o provoz střídavě suchý a mokvý s chloridy z posypových materiálů.

Voda a sněhová břecha se do garáží dostává na podvozcích příjezdějících vozidel. Při delším stání pak ještě vy-padáváním tajících kusů sněhu a ledu z jejich podběhů. Na povrch betonové podlahy tak působí lokální prochlazení a kontakt s agresivním roztokem.

V současné době je většina garáží navrhována a realizována s tzv. nulovou podlahou. Znamená to, že pojížděným povrchem je přímo zahlazený líc nosné desky. V místech napojení svislých konstrukcí je množství pracovních spár, které zpravidla bývají i v plo-

Obr. 1 Typický stav železobetonové konstrukce z 80. let minulého století, koroze výztuže a odpadání krycí vrstvy spodní exponované oblasti zídky ■

Fig. 1 Typical condition of reinforced concrete construction of the 80s of the last century, corrosion of reinforcement and delaminating of the covering layer at the bottom exposed area of the wall

Obr. 2 Železobetonová konstrukce schodiště z 30. let minulého století, masivní koroze výztuže, její oddělení od betonu, částečný rozpad samotného nosného betonu ■

Fig. 2 Reinforced concrete construction of a staircase of the 1930s, massive corrosion of the reinforcement, its separation from the concrete, partial collapse of the supporting concrete

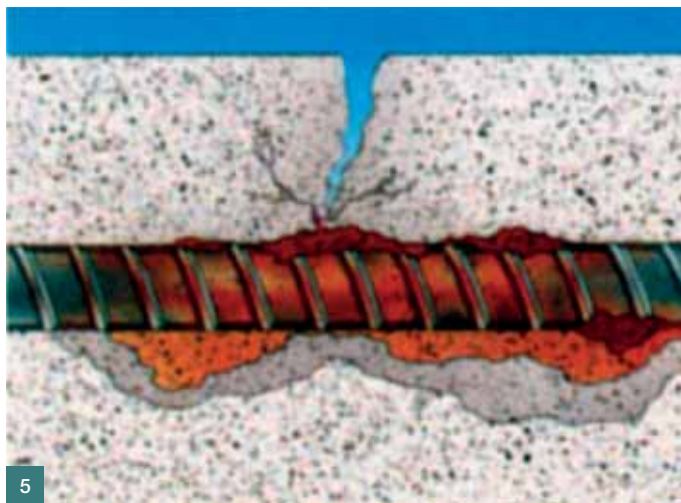
Obr. 3 Námraza na mostě

■ Fig. 3 Ice on the bridge

Obr. 4 Příklad tenkého nátěru, nadměrně protaženého na trhlinách betonového podkladu, zeslabení nátěru je signalizováno bílou barvou vykreslených linií trhlin

■ Fig. 4 Example of a thin coating, excessively stretched on cracks of the concrete basis, paint fading is delineated with white line cracks





5



6



7



8



9



10

še větší desky. Obvykle v ploše desky najdeme množství trhlin, které většinou vznikly v důsledku vázaného smrštění. Je-li šířka trhliny větší než 0,1 mm, vzniká riziko pronikání vody do ní a následné koroze výztuže (obr. 5 a 6).

Často používané levné a tenké nátěry podlah nejsou dostatečně odolné pojezdu vozidel, zejména v hodně exponovaných místech, např. v oblasti vjezdu, směrových oblouků apod. (obr. 7). Rovněž neukázněné chování řidičů je zejména pro tenké nátěry limitující, jak ukazuje příklad na obr. 8.

Za zimního provozu, kdy se dostane většina povrchu podlahy garáže pod souvislou vrstvu vody, se potom poruchy nátěrů na trhlinách demonstrovují viditelnými průsaky (obr. 9 a 10) a v těchto místech dochází k lokálnímu poškození nosné konstrukce. Teprve až se zjistí problém s poškozením laku dole stojících vozidel, začíná zpravidla provozovatel budovy vyvíjet snahu po hledání příčin a nápravě, resp. uchránění parkujících vozidel před jejich poškozováním.

Tloušťka nátěru – technologické vlivy

Z hlediska technologie nanášení nátěrů má na výslednou kvalitu a tloušťku vliv řada faktorů a okolností. Základní z nich je možné shrnout do následujících skupin:

- parametry podkladu (pevnost, smáčivost apod.),
- způsob přípravy podkladu,
- charakteristiky povrchu upraveného podkladu,
- druh použitého nátěrového materiálu,

Obr. 5 Schéma rozvoje koroze na trhlině za přítomnosti chloridových iontů ■

Fig. 5 Scheme of development of corrosion on crack in presence of chloride ions

Obr. 6 Příklad reálného projevu koroze za přítomnosti chloridových iontů na trhlinou porušeném nátěru podlahy

■ Fig. 6 Example of a real expression of such a corrosion crack corrupted paint floor

Obr. 7 Příklad ojetí málo odolného nátěru na exponovaném povrchu betonové podlahy

■ Fig. 7 Example of damaged low-resistant paint on highly exposed surface of the concrete floor

Obr. 8 Příklad poškození tenkého nátěru prudkou akcelerací vozidla ■ Fig. 8 Example of damage of a thin paint layer caused by intense acceleration of the vehicle

Obr. 9 Zimní provoz hromadné garáže, louže z tajícího sněhu na povrchu betonové podlahy ■ Fig. 9 Garage operation in winter, a puddle of melting snow on the surface of the concrete floor

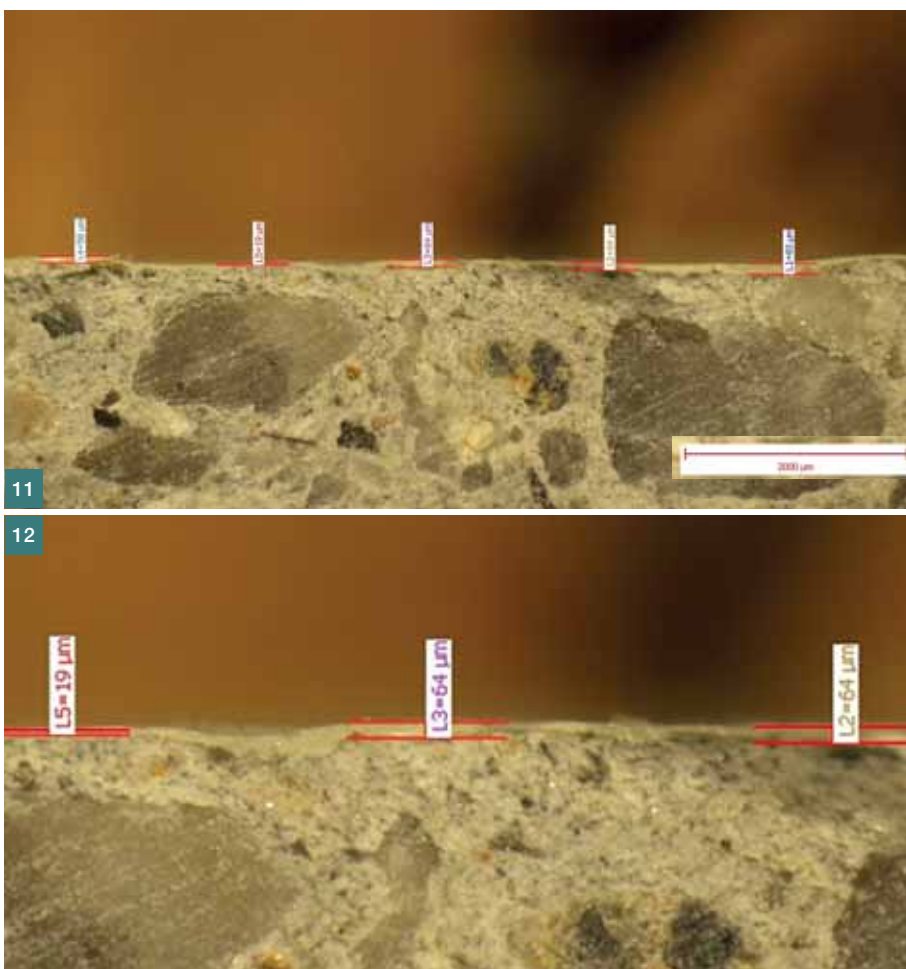
Obr. 10 Prosakující smršťovací trhlina na podhledu tétož stropu – oblast téže louže ■ Fig. 10 Leaking shrink crack on the soffit of the ceiling – the area of the same puddle on the floor above

Obr. 11 Příklad měření tloušťky nátěru na zkoumaném vzorku délky cca 6 mm ■ Fig. 11 Example of coating thickness measurement on the sample length of approx. 6 mm

Obr. 12 Detailní záběr levé části zkoumaného vzorku z obr. 11 ■ Fig. 12 Detail of the left part of the analysis of samples from Fig. 11

- způsob nanášení vrstvy (nástrík, nátěr, stěrka),
- rovnoměrnost nanášení materiálu,
- množství materiálu aplikovaného v jedné vrstvě,
- technologické přestávky mezi vrstvami,
- rozsah současně aplikované plochy,
- podmínky prostředí při aplikaci a zranění,
- počet prováděných vrstev,
- kombinace materiálů u vícevrstevných systémů atp.

Pro řádnou aplikaci je třeba dodržet pokyny a doporučení výrobce materiálu. Před každou realizací by měl být zpracován konkrétní technologický postup a na něj navazující kontrolní a zkušební plán. V případě stavebních aplikací je použití nátěrů zpravidla dáno projektovou dokumentací, která by měla obsahovat specifikaci v potřebném rozsahu a podrobnosti tak, aby bylo možné podle ní technologický postup a kontrolní plán zpracovat. Možné kombinace shora uvedených faktorů jsou velmi rozmanité, a tudíž nemá praktický smysl je v obecném výčtu podrobně popisovat. Vždy je však třeba dbát na podstatné vlastnosti, podmínky a řádně provádět potřeb-



nou mezioperační kontrolu se zřetelem ke sledovanému cíli.

Častým problémem je stále dodržování správných poměrů míchání u více-složkových materiálů, ale i promíchávání jednosložkových hmot. Nevhodné míchací postupy mohou způsobit nedostatečné promíchání, zavzdušnění směsi apod. Většina syntetických materiálů v rozpouštědlové formě je přinejmenším v některé fázi zranění citlivá na vlhkost vzduchu a styk s vodou, což může mít zásadní vliv na vlastnosti výsledné vrstvy. Opakují se i problémy s nedostatečným větráním, kdy vlivem stupně nasycení vzduchu nemohou další těkavé podíly ze zrající vrstvy efektivně uniknout, podobně jako problémy s příliš intenzivním větráním, kdy je např. tenká vrstva nadměrně ochlazována. Jindy vede překrytí nedostatečně vyzrálé vrstvy dalším materiálem ke ztíženému úniku těkavých složek a opět to často může přivodit fatální změny výsledných vlastností. U porézniích podkladů, jako beton, je důležité, zda se při aplikaci podklad ohřívá nebo chladne, protože to má vliv na chování vzduchu v něm atd.

Technologické vlivy na výslednou kvalitu nátěru, potažmo jeho tloušťku, mají celou řadu velmi různých projevů a pro

úspěšné provedení funkčních nátěrů je třeba řešit komplexně celý výrobní proces od návrhu přes přípravu po realizaci a kontrolu se zpětnou vazbou.

MĚŘENÍ TLOUŠŤKY OCHRANNÉHO NÁTĚRU

Pro přímé měření tloušťky nátěru na betonu se ukázaly jako méně vhodné metody využívající řez. Důvodem je často velmi nerovný povrch betonu pod nátěrem a také rychlé otupení ocelového ostří, které vede ke zkreslení délky měřené úsečky. Vyzkoušeli jsme proto a postupně zavedli měření pomocí mikroskopu na malých vzorcích. Mohou to být např. terče po odtrhové zkoušce, která slouží k hodnocení pevnosti povrchových vrstev v tahu, nebo malé odřezky odebrané pomocí ruční úhlové brusky.

Odebrané vzorky se očistí, případně fixují, na řezu zbrousí a podle potřeby vyleští. Potom se pomocí softwarového vybavení mikroskopu naměří hodnoty tloušťky nátěru. Na obr. 11. je znázorněno měření tlouštěk na optickém mikroskopu Olympus SZ61. Mikroskop umožňuje použít rozsah zvětšení od 6,7x až do 45x. Při největším zvětšení je pozorovací vzdálenost 160 mm.

Tab. 1 Naměřené hodnoty tloušťek nátěrů ■ Tab. 1 Measured values of thickness of coatings

Naměřené tloušťky nátěrů [μm]							
Číslo měření	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6	Vzorek 7
1	76	71	83	39	83	83	83
2	76	58	64	83	62	62	36
3	84	58	64	51	83	62	83
4	84	64	58	64	62	83	42
5	42	71	19	77	62	42	73
Střední hodnota	72	64	58	63	70	66	63
Minimum	42	58	19	39	62	42	36
Maximum	84	71	83	83	83	83	83
Směrod. odch.	16	6	21	16	10	15	20
Variační koeficient [%]	22	9	36	25	14	23	32
Medián	76	64	64	64	62	62	73
Rozpětí	42	13	64	44	21	41	47

Výsledky měření – podlaha garáže

V kontextu výše uvedeného se při posuzování vad a poruch nátěrů často zabýváme mj. jejich tloušťkou, která bývá základním sporným parametrem. Běžně používané metody k určení tloušťky nátěru např. na kovových podkladech se ukázaly pro beton jako málo vhodné, obtížně použitelné a s nepříliš spolehlivými výsledky.

Vzhledem k poměrně velké drsnosti povrchu podkladu, jeho nehomogenitě a relativně malé tloušťce prováděných vrstev je dle našeho názoru nutno uplatňovat statistické hodnocení kvality. K zvýšení vypovídací schopnosti je tedy třeba nejprve získat dostatečně rozsáhlý reprezentativní vzorek, což bylo zvláště u větších ploch obtížné.

V tab. 1 jsou uvedeny naměřené hodnoty tloušťky nátěru podlahy posuzované garáže získané výše uvedeným postupem pomocí mikroskopu.

ZÁVĚR

Vyhodnocení v tab. 1 a histogramu (obr. 13) ukazují, že tloušťky provedeného nátěru jsou poměrně variabilní, ale převažují hodnoty 81 až 90 a 61 až 70 μm (průměrný meridián 66 μm), což může být zapříčiněno technologickými vlivy, jako je složení použité nátěrové hmoty, její příprava před aplikací, kontaktní charakteristika podkladu, para-

metry prostředí v době aplikace a zrání apod. (obr. 13).

Směrodatná odchylka ukazuje poměrně velké rozdíly v tloušťce nátěrů na zkoumaných místech, což znamená také vysokou nehomogenitu v ploše podlahy ve smyslu mechanických i difúzních parametrů. Ačkoli tedy mezi zjištěnými hodnotami převládá tloušťka suchého filmu v rozmezí cca 61 až 90 μm, což je v našem porovnání hodnota relativně vyšší, nedosahuje tato tloušťka nátěru ani poloviny výrobcem udaného doporučení, které je 200 μm pro suchý film.

Při zhodnocení zjištěné tloušťky ochranného nátěru tak za dané situace nutně vyvstávají otázky ohledně jeho funkčnosti – tj. ochranné způsobilosti a trvanlivosti. Z výsledků získaných v případě hodnocené podlahy této garáže lze usuzovat, že provedený nátěr není v daných podmínkách dostatečným způsobem řešení ochrany podlahy.

Provedený nátěr nemá za daného provozu dostatečnou mechanickou odolnost, nadměrně se opotřebovává pojezdem vozidel a praská na drobných trhlinkách podkladu. Není tedy schopen zajistit potřebnou sekundární ochranu a hydroizolační funkci podlahy v její celé ploše ani u navazujících částí nosné konstrukce (stěny, sloupky apod.). Z hlediska pojižděné podla-

hy tak pouze dočasně plnil funkci barevného sjednocení jejího povrchu, což u ochranného nátěru věru není mnoho.

Jistě je jasné, že se každý nátěr provozem opotřebuje a kromě běžné údržby potřebuje po určité době i obnovu. Volba nevhodného nátěru pro dané provozní podmínky pak zpravidla znamená jeho enormně rychlé opotřebení a zanedbaná údržba a obnova mohou být příčinou postupných závažných poškození samotné nosné konstrukce. Náklady na budoucí sanaci pak obvykle významně převáží původní úspory získané použitím levnějšího nátěru podlahy. Změření tloušťky nátěru je poměrně jednoduchým postupem kontroly kvality, stupně opotřebení podlahy i preventivním postupem z pohledu omezení rizika vzniku možných druhotných škod na nosné konstrukci.

Článek vznikl za podpory grantového projektu TA02010751.

Ing. Vítězslav Vacek, CSc.
e-mail.: vitezslav.vacek@klok.cvut.cz
tel.: 602 214 510

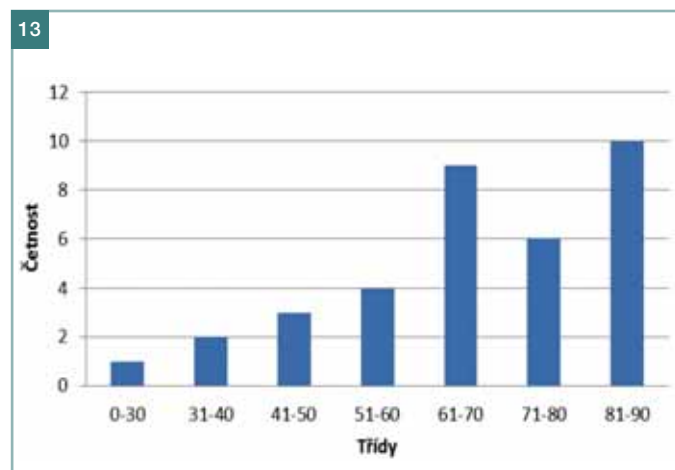


Ing. Michaela Kostecká

oba: Kloknerův ústav ČVUT v Praze
Šolínova 1903/7, 166 08 Praha 6



Obr. 13 Histogram četnosti naměřených hodnot ■ Fig. 13 Histogram of the frequency of the measured values



MŮŽE SE HODIT...

Řešíte-li nějaký problém z oblasti technologie betonu, od úpravy kameniva přes návrh směsi až po ošetřování uloženého čerstvého betonu ad., může se Vám hodit podívat se na stránky norského výzkumného centra COIN (COncrete INovation centre) www.coinweb.no. Vedle jasného členění celého centra se všemi kontakty na jednotlivé pracovníky jsou zde snadno ke stažení PDF soubory state-of-art jednotlivých oblastí výzkumu, na které se centrum zaměřilo, roční přehledové zprávy a závěrečné zprávy, všechny anglicky a s dlouhými seznamy referencí. Je to zdroj informací a inspirace nejen v oblasti betonového stavitelství.

redakce