

# VADY A PORUCHY STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH VLIV NA STANOVENÍ SLEVY Z DÍLA

Přednáška na konferenci znalců ÚSI VUT v Brně, dne 24. 1. 2004.

## 1. ÚVOD

Vady a poruchy stavebních materiálů resp. konstrukcí z nich zhotovených provázejí člověka již od počátku jejich cílevědomého používání. Přes veškerou snahu a dlouhodobé zkušenosti nedovedeme tyto vady a poruchy ani v dnešní moderní době zcela eliminovat. Přitom však v rozdílných státech mohou být odlišné nejčastější příčiny jejich vzniku. Porovnání stavu v ČR a SRN je uvedeno na obrázku číslo 1. Dominantní příčinou vad v SRN je nesprávné navrhování staveb a materiálů, v ČR je nejčastějším zdrojem problémů provádění staveb.

## 2. VADY MATERIÁLŮ

Ve stavebnictví je požívána celá řada materiálů. Mezi nejčastěji využívané materiály patří beton, omítkové směsi, keramické obklady a dlažby, nátěrové hmoty a jiné.

Ve znalecké praxi je nezbytné nejen zachytit rozsah vad těchto materiálů, ale také jednoznačně identifikovat příčinu (obvykle spíše několik příčin a jejich kombinace) jejich vzniku. Zde již jen málokdy

vystačíme s posouzením fyzikálně – mechanických parametrů hodnocených materiálů. Pro objektivní určení příčin vzniku vad a poruch jsou nezbytné komplexní analýzy, zahrnující zjištění nejen fyzikálně – mechanických, ale také fyzikálně – chemických parametrů vadných materiálů. Součástí fyzikálně – chemických zkoušek je nejčastěji chemická analýza, rentgenová difrakční analýza, diferenční termická analýza a infračervená spektrální analýza. Dále bývá pro studium mikrostruktury používán elektronový rastrovací mikroskop, umožňující zvětšení v řádu až  $10^4$ .

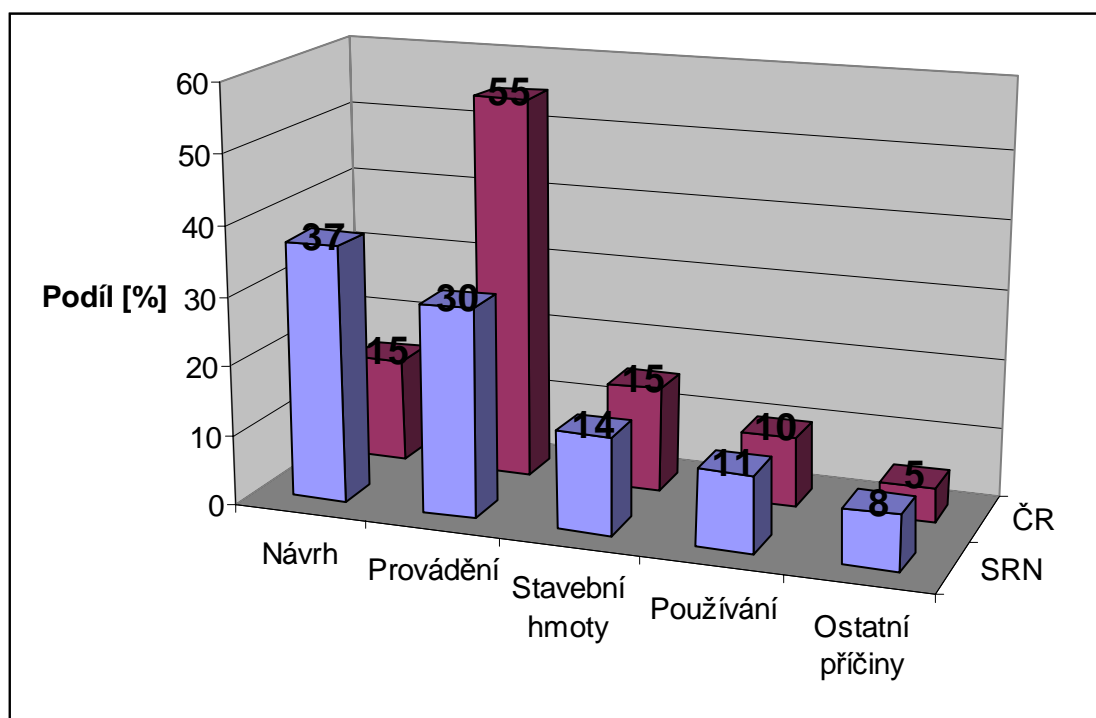
### 2.1 Betony

U čerstvých betonů nejčastěji diagnostikujeme tyto vady:

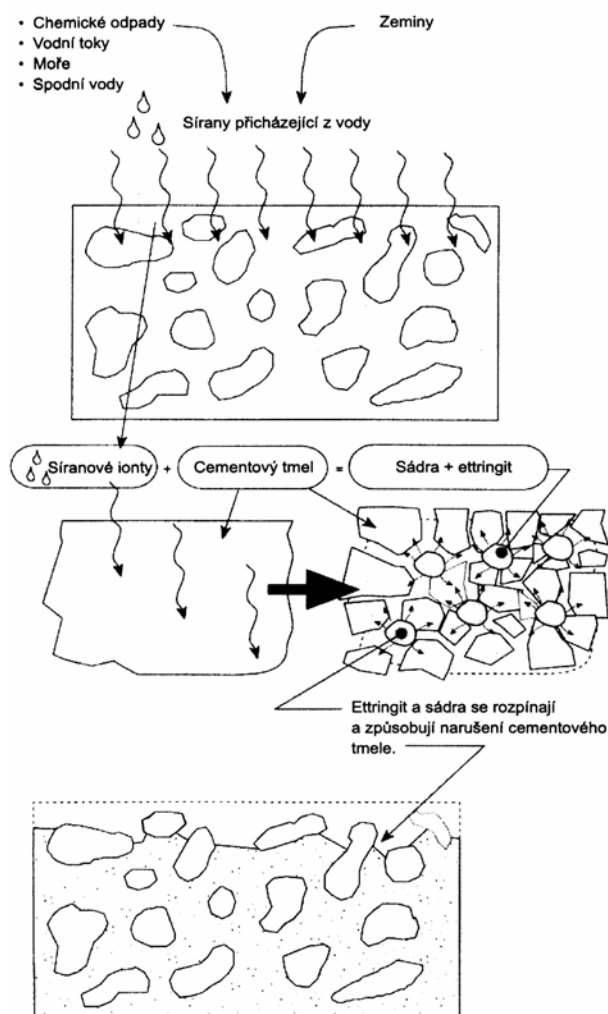
- chybné složení betonu (nekvalitní suroviny, špatný poměr jednotlivých složek apod.),
- technologická nekázeň při zpracování (dodatečné ředění betonu vodou, nedostatečné zhutnění, špatné ošetřování apod.).

U ztvrdlých betonů nejčastěji diagnostikujeme tyto vady:

- nedostatečná mrazuvzdornost resp. nízká odolnost vůči působení chemických rozmrazovacích solí,



Obr. 1 Nejčastější statisticky uváděné příčiny vad v SRN a v ČR.



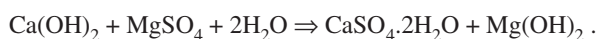
Obr. 2 Síránové rozpínání.

- nedostatečná pevnost,
- nedostatečná vodotěsnost,
- vznik trhlin.

### 2.1.1. Síránové narušení betonů

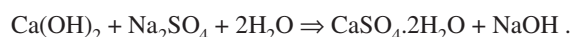
V důsledku působení síranů na beton (viz obr. 2) dochází k reakcím, jejichž produktem jsou poměrně objemné krystalické novotvary (např. sekundární ettringit, sádrovec). Tyto novotvary krystalizují nejprve v dutinách a pórech, čímž zpočátku zvyšují hutnost betonu. V pozdějších fázích je ovšem růst krystalů v mikrostruktuře betonu příčinou generace tahových napětí, které mohou vést až k destrukci betonu.

V některých případech může být konstrukce exploatovaná v síranovém prostředí degradována v důsledku synergického působení jak II. tak III. typu koroze. Jako příklad lze uvést tzv. sulfatohečnatou korozi, kdy je beton atakován síranem hořečnatým. Reakce, které při těchto procesech probíhají lze principiálně popsat rovnicí:



Kromě tvorby  $\text{Mg(OH)}_2$ , který prakticky nemá vazné vlastnosti (koroze II. typu), dochází též ke krystalizaci sádrovce  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  v pórech a kapilárách betonové konstrukce, kterou porušuje mechanismem koroze III. typu.

Zkušenostmi získanými při hodnocení stavu reálných železobetonových konstrukcí vystavených působení vod se zvýšeným obsahem síranů bylo prokázáno, že na vzniku poruch se zpravidla podílí především koroze III. typu, jejíž příčinou jsou objemové změny vyvolávané ve struktuře betonu vznikajícími krystalickými novotvory. Jedná se především o vznik sekundárního ettringitu, eventuálně sádrovce. Principiálně lze reakce vzniku těchto fází popsat rovnicemi:



Vzniklý sádrovec dále reaguje s vysoce zásaditými hydroalumináty vápenatými za vzniku ettringitu, přičemž tyto reakce lze vyjádřit rovnicí:



V důsledku těchto reakcí dochází ve struktuře betonu k voluminózním změnám, jejichž důsledkem může být až naprostá destrukce betonu.

### 2.1.2 Alkáliové rozpínání

K poruchám železobetonových konstrukcí v důsledku alkáliového rozpínání dochází tehdy, obsahuje-li kamenivo použité v betonu vysoký podíl amorfního oxidu křemičitého. Mezi kameniva s vysokým obsahem amorfního oxidu křemičitého náleží např. opál, chalcedon apod.

Principem alkáliového rozpínání anebo také alkalické reakce kameniva, jsou reakce mezi amorfním oxidem křemičitým z kameniva a sodnými příp. draselnými ionty obsaženými v cementové matici za přítomnosti vody. Produktem těchto reakcí je sodný příp. draselný gel kyseliny křemičité. Vznikající gel je příčinou objemových změn, které generují expanzní tlaky v mikrostruktuře betonu. Důsledkem expanzních tlaků je vznik trhlin narušujících beton (viz obr. 3).



Obr. 3 Narušení betonu v důsledku alkáliového rozpínání.

### 2.1.3 Mrazové narušení betonů

Mrazové narušení betonu (viz obrázek číslo 4) vzniká v důsledku zamrznání vody obsažené v pórové struktuře betonu. Změnou teplot okolního prostředí dochází k postupnému zamrznání a rozmrznání vlhkosti absorbované konstrukcí a k následnému narušení soudržnosti betonu. Příčinou tohoto jevu je zvyšování objemu ledu o cca 10% oproti objemu vody v kapalně fázi, což v betonu vytváří napětí, kterému není schopen vzdorovat. Led se nejprve tvoří v povrchových vrstvách betonu. Při skupenské změně vody na led doprovázené zvětšením objemu nevyhnutelně dochází při tvorbě ledu v povrchové zóně k zatlačení kapalné vody hlouběji do betonu. Tato vyplňuje i menší kapiláry a nastává stav napjatosti. Dalším postupným mrznutím vody od povrchu se zvětšuje i prostor zabraný ledem a voda se dále stlačuje. Takto vzniklý hydraulický tlak vody taktéž způsobuje porušení betonu.



Obr. 4 Mrazové narušení betonu.

## 2.2 Omítky

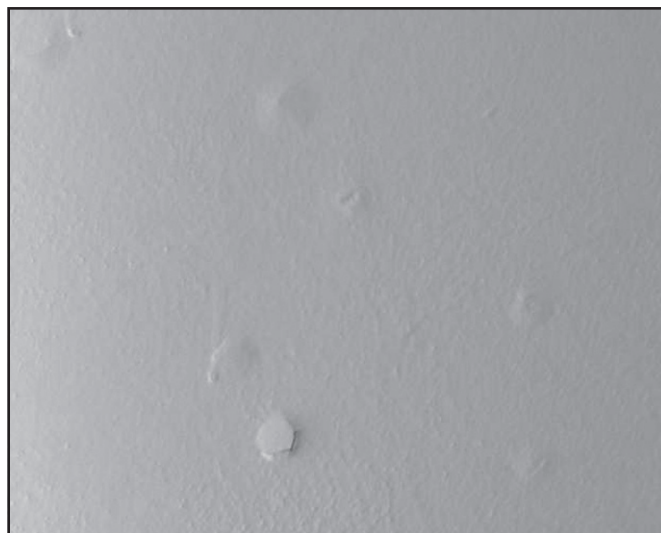
Omítky tvoří velmi častou a oblíbenou povrchovou úpravu mnoha typů staveb. Základní funkcí omítek je ochrana konstrukce proti působení různých agresivních vlivů, a dále dotváří estetický vzhled staveb. U omítek se projevují různé vady a poruchy, související buď s nevhodně zvoleným podkladem, nekvalitou vlastní omítkové hmoty anebo jsou zapříčiněny nevhodným prováděním.

### 2.2.1 Rozpad omítek

Rozpad omítek (tzv. střílení) vzniká v důsledku obsahu nevyhašeného vápna v omítkové směsi. Oxid vápenatý, který se při hašení vápna s vodou nesloučil je metastabilní, jeho konfigurace je energeticky nevýhodná a oxid tedy má snahu se přeměnit na stabilnější sloučeninu. V omítkách, které jsou vystaveny působení vlhkosti je touto stabilnější sloučeninou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , tzn. dochází k postupnému „dohašování“ dřívě nevyhašených zrn oxidu vápenatého. Pokud k tomuto „dohašování“ dochází v okamžiku, kdy je již v okolí hydratujícího zrna vytvořena pevná matrice omítky, je tento jev velmi negativní. V důsledku objemových změn, kterými

je hydratace zrna vápna doprovázena, dochází ve struktuře omítky ke vzniku expanzních tlaků, které mohou být příčinou destrukce omítky. Popsané procesy jsou označovány jako tzv. vápenatě rozpínání.

Projevem těchto reakcí je vznik typických puchýřků, vzniklých odstředěním povrchu omítky (viz obr. 5). Tento proces je poměrně dlouhodobý, k prvním projevům dochází řádově za několik měsíců až let po aplikaci omítky, v závislosti na tloušťce omítky a okolní relativní vlhkosti vzduchu.



Obr. 5 Střílení omítek v důsledku obsahu nevyhašeného vápna v omítkové směsi.

### 2.2.2 Trhliny v omítkách

Vznik trhlin v omítkách může mít několik základních příčin. Jedná se zejména o aplikaci omítky v nestejně vrstvách, kdy dochází v různě silných vrstvách k pnutí, které je vyšší než pevnost omítkoviny v tahu. Dalším častým zdrojem trhlin je nestejně široká nebo obecně vysoká šířka spár podkladního zdiva. Na obr. 6 je zdokumentována trhlina v omítkě, kopírující 20 mm silnou spáru ve zdivu.



Obr. 6 Trhliny vznikající nad příliš širokými sparami zdiva.

### 2.3 Nátěry

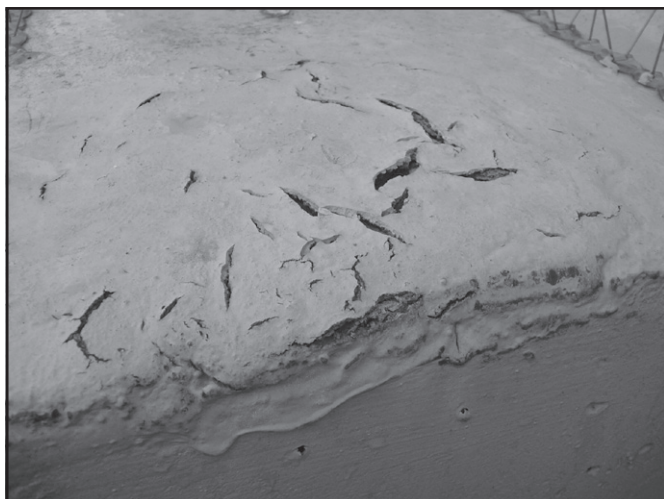
Nátěry jsou specifickou skupinou stavebních materiálů. Jejich hlavním úkolem je ochrana konstrukce před vlivem agresivních médií, a dále slouží k estetickému sjednocení vzhledu povrchu konstrukce. Příčinou poruch nátěrů bývají nejčastěji tyto skutečnosti:

- Nízká přídržnost.
- Nízká vodotěsnost, a to tam kde je to požadováno.
- Nevhodně zvolený stupeň difúzního odporu proti pronikání vodní páry.
- Nízký difúzní odpor vůči oxidu uhličitému.
- Málo penetrace jestliže nátěrový systém se skládá z několika vrstev.
- Nízká kryvost celého nátěrového systému.
- Špatná mrazuvzdornost.

Na obr. 7 je zdokumentováno odlupování nátěru v důsledku nízké přídržnosti k podkladu. Nátěr s vysokým stupněm difúzního odporu proti pronikání vodní páry, poškozený tlakem vodních par, je zobrazen na obr. 8.



Obr. 7 Odlupování nátěru v důsledku nízké přídržnosti k podkladu.



Obr. 8 Trhliny v nátěru způsobené expanzním tlakem uzavřené vlhkosti.

### 2.4 Keramické obklady a dlažby

Keramické obklady a dlažby jsou velmi často používány pro své vynikající užitné i estetické vlastnosti. Zde můžeme vady rozčlenit do 3 základních skupin:

1. **Vady obkladových prvků včetně doplňků** – zde se jedná zejména o trhliny ve střepu, rozměrovou nepřesnost, vytaveniny, nepřípustné skvrny a odstíny glazury a další.
2. **Vady při provádění pokládky** – např. nepodepření keramického prvku lepicí hmotou v celé ploše, nekompaktní spárování, vady rovinnosti dlažeb a obkladů, vlhkost podkladu, vady spojovacích hmot apod.
3. **Vady a poruchy stavební** – vady způsobené výběrem nevhodných prvků, nevhodných spojovacích materiálů, vady způsobené nekvalitním podkladem, nerespektováním dilatací objektu, vady v důsledku zvýšeného teplotního namáhání apod.

Velmi časté jsou mrazové poruchy dlažeb umístěných v exteriéru. Nekompaktním spárováním (viz obr. 9) dochází ke značnému vniknutí vody pod dlažbu, čemuž často napomáhá skutečnost, že lepicím tmelem není podepřena celá plocha dlaždice. Voda zde v zimním období zamrzá, přičemž dochází k zvětšování jejího objemu. Expanzní tlaky naruší soudržnost dlažby s lepidlem resp. lepidla s podkladními vrstvami (viz obr. 10).



Obr. 9 Nekompaktní spárování dlažby balkonu.



Obr. 10 Mrazové narušení dlažby zamrznáním vody vniklé sparami.

### 3. NÁROKY Z VAD ZBOŽÍ

V běžné stavební praxi se s vadami vzniklými v průběhu výstavby různých typů staveb setkáváme poměrně často. Posouzení nároků z vad staveb je proto pro znalce velmi často řešenou problematikou.

Nároky z vad zboží jsou uvedeny v platném znění Obchodního zákoníku (OZ). Je-li dodáním zboží s vadami porušena smlouva podstatným způsobem, může kupující (§ 436 OZ):

- požadovat odstranění vad dodáním náhradního zboží za zboží vadné, dodání chybějícího zboží a požadovat odstranění právních vad,
- požadovat odstranění vad opravou zboží, jestliže vady jsou opravitelné,
- požadovat přiměřenou slevu z kupní ceny, nebo
- odstoupit od smlouvy.

Je-li dodáním zboží s vadami smlouva porušena nepodstatným způsobem, může kupující (§ 437 OZ):

- požadovat dodání chybějícího zboží a odstranění ostatních vad zboží, nebo
- slevu z kupní ceny.

Při řešení nároků souvisejících s vadami zboží dále platí:

- kupující musí prodávajícímu vady oznámit ve včas zasláném oznámení,
- uplatněný nárok nemůže kupující měnit bez souhlasu prodávajícího,
- jsou-li vady neopravitelné nebo jsou s jejich opravou spojeny nepřiměřené náklady, může kupující požadovat dodání náhradního zboží, požádá-li o to prodávajícího bez zbytečného odkladu poté, kdy mu prodávající oznámil tuto skutečnost,
- neodstraní-li prodávající vady zboží v přiměřené dodatečné lhůtě nebo oznámí-li před jejím uplynutím, že vady neodstraní, může kupující odstoupit od smlouvy nebo požadovat přiměřenou slevu z kupní ceny,
- Kupující nemůže odstoupit od smlouvy, jestliže vady včas neoznámil prodávajícímu,
- kupující má mimo náhradu škody nárok i na smluvní pokutu, je-li sjednána,
- kupující může o slevu snížit kupní cenu placenou prodávajícímu; byla-li kupní cena již zaplacená, může kupující požadovat její vrácení do výše slevy,
- do doby odstranění vad není kupující povinen platit část kupní ceny, jež by odpovídala jeho nároku na slevu, jestliže by vady nebyly odstraněny.

### 4. SLEVA Z KUPNÍ CENY

V případě řešení vad díla formou slevy z celkové ceny díla je nezbytné určit míru slevy. Ta musí být určena v souladu s rozsahem a závažností vad. Konkrétně metodika jejího stanovení u stavebních materiálů, resp. přesný postup není nikde kodifikován.

Nárok na slevu z kupní ceny podle OZ odpovídá rozdílu mezi hodnotou, kterou by mělo zboží bez vad, a hodnotou, kterou mělo zboží dodané s vadami. Přitom pro určení těchto hodnot je rozhodující doba, v níž se mělo uskutečnit řádné plnění.

Obchodní zákoník ani jiné předpisy, stejně tak i technické normy, neuvádí konkrétní a závazný postup pro stanovení míry slevy. Tato je definována v Obchodním zákoníku pouze jako „přiměřená“ (§ 436, odst. 1 OZ).

Je proto úkolem znalce metodiku, vhodnou pro konkrétní řešený případ, určit a objektivně na daný stav aplikovat.

Vzhledem k tomu, že při řadě soudních sporů bylo našemu znaleckému ústavu uloženo kromě stanovení příčin vad a poruch určit i přiměřenou míru slevy, dost dlouho jsme tento problém řešili.

Určení míry slevy je proto obvykle možné provést několika způsoby.

Mezi nejčastěji používané metodiky určení slevy patří:

- odborný odhad,
- vhodným způsobem kvantifikovaný rozsah vad,
- určení nejnútnejších nákladů na uvedení díla do stavu bez vad,
- výpočet snížení životnosti konstrukce
- určení rozdílu cen projektovaného a skutečného provedení díla.

Vzhledem k tomu že v jednom konkrétním případě mohou různé metody přinést různé výsledky, je nanejvýš vhodné použít kombinaci několika metod a provést jejich vzájemné porovnání. Lze tím předejít případnému zpochybňování adekvátnosti určené míry slevy.

#### 4.1 Odborný odhad

Jedná se o metodu jednoduchou, která je však silně závislá na subjektivním odhadu znalce. Ten nejčastěji vizuálním posouzením rozsahu vad odhadne jejich podíl na celkové výměře posuzované konstrukce, bez jejich přesného kvantifikování. Značnou nevýhodou této metody je následná obtížná obhajitelnost míry slevy při jejím případném rozporování.

Jedná se tedy o metodu, kterou lze užít jen velmi zřídka, zejména v situacích kdy nelze použít žádnou z objektivnějších metod.

#### 4.2 Kvantifikace rozsahu vad

Využití této metody je založeno na předpokladu, že rozsah vad je přímo úměrný adekvátní slevě z ceny vadného díla. Nezbytná je vhodná volba metodiky kvantifikace vad, například u plošných poruch (zejména podlahy apod.) lze využít určení výměry vad v m<sup>2</sup>, u délkových poruch (např. trhliny) délka v m apod.

V případě značně rozsáhlých ploch se nabízí možnost využití tzv. referenčních ploch, kdy vytyčíme plochu, reprezentující všechny typy a přibližné rozsahy vad z celé posuzované plochy. Tyto zde podrobně zhodnotíme a zkvantifikujeme, a v případě správné volby referenční plochy lze učinit závěr, že procento podílu vad na referenční ploše se rovná procentu podílu vad na celé posuzované ploše.

Při využití této metodiky je míra slevy je charakterizována poměrem vadných částí díla k celkovému objemu díla. V případě kvalitního a podrobného provedení průzkumu poruch se jedná se dostatečně objektivní metodu.

#### 4.3 Určení nejnútnejších nákladů na uvedení díla do stavu bez vad

Podstatou metody je stanovení vhodné metody opravy, adekvátní zjištěnému rozsahu vad, příčině poruch a také charakteru díla.

Míra slevy je charakterizována nejnětějšími náklady, nezbytnými pro uvedení díla do stavu bez vad. Na základě stanovené metodiky se výše nákladů stanoví pomocí položkového rozpočtu vhodnou metodikou, nejčastěji pomocí ceníků ÚRS Praha, a.s.

Nevýhodou této metody je, že v některých případech mohou náklady na provedení opravy převýšit původní cenu díla a míra slevy by tak přesáhla 100 % původních nákladů. Jedná se zejména o situace, kdy je nutné kompletní odstranění a znovuvybudování vadné konstrukce. Zde však je na znalci, aby posoudil zda je tato varianta opravy jediná, anebo zda lze provést opravu i jiným, efektivnějším způsobem.

#### 4.4 Výpočet snížení životnosti konstrukce

Další často užívanou metodikou je určení míry slevy prostřednictvím určení snížení životnosti konstrukce vlivem vad. Například při vzniku trhlin u betonových podlah garáží dojde k vnikání agresivních médií do hmoty betonu a dochází tak k fyzikálně chemickému narušení betonu. Dále je betonová podlaha více namáhána i mechanickými či dynamickými vlivy, kdy pojezdem automobilů po nerovné ploše vznikají vyšší nárazy na povrch, a zejména v místě trhlin může docházet k rychlejšímu narušování betonu, např. odlamováním hran trhlin apod.

Důležitá je zde volba vhodné metodiky výpočtu životnosti. Jednou z metod, kterou lze životnost konstrukce spočítat, je tzv. kubická metoda, jejímž autorem u nás je Prof. Ing. Albert Bradáč, DrSc. [6]. Tato metoda výpočtu umožňuje zohlednit okamžitý stav objektu, případně i stav údržby. Výpočtový vzorec je:

$$Z = S + \left[ ZZ + \frac{S^3}{2 \cdot ZZ^2} - S \right] \cdot \frac{Q}{100}$$

Pomocí vzorce lze určit životnosti díla bez vad a životnosti díla s vadami. Míru slevy následně určuje podíl zkrácení životnosti díla vadného oproti dílu bez vad.

#### 4.5 Určení rozdílu cen projektovaného a skutečného provedení díla

V případech, kdy v průběhu budování díla došlo k záměně v projektu navržených technologií nebo materiálů jinými, levnějšími, přičemž fakturace probíhala dle rozpočtu kalkulujícího s položkami podle projektu, se zjistí cena skutečného provedení díla a cena původně navrženého díla dle projektu.

Případná sleva se vyčíslí jako rozdíl mezi cenou díla projektovaného a díla skutečně provedeného.

### 5. ZÁVĚR

Posuzování míry slevy při výskytu vad je velmi obtížná problematika, vyžadující od znalce vysoce odborný přístup, s uvážením vlastností posuzovaných konstrukcí a možností dopadu vad na jejich další životnost a možnosti opravy. Pro určení míry slevy neexistuje jednotná metodika, a volba vhodného způsobu určení slevy závisí na typu, rozsahu a příčinách poruch, a také na

možnostech a zkušenostech konkrétního znalce. Přednostně je třeba využít metody, objektivně určující skutečný stav posuzovaného díla. Pro ověření správnosti určené míry slevy je vhodné provést kombinaci alespoň 2 metod.

Velmi důležité pro správné posouzení je objektivně určit příčinu (resp. příčiny a jejich možnou kombinaci) vzniku poruch za využití moderních fyzikálně – mechanických a fyzikálně- chemických metod. Znalost příčiny vzniku vad umožňuje na ně adekvátně reagovat volbou vhodné metodiky sanace tak, aby konečný návrh opravy zaručoval dostatečnou další životnost stavby, a nedocházelo tak v krátkém čase k opětovnému projevu stejné vady.

Vzhledem k nepřetržitému rozvoji metod určování vlastností materiálů a možných příčin vad a poruch, se znalci musí celoživotně vzdělávat a neustále prohlubovat své znalosti. Zajímavé kurzy v této oblasti jsou každoročně v průběhu zimních měsíců pořádány na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně.

Nejnovější metodiky určování fyzikálně-mechanických a fyzikálně-chemických vlastností materiálů jsou zde zkoumány zejména rámci výzkumného záměru MSM 261100008 „Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich vyšší trvanlivosti ve stavebních konstrukcích“ a grantu GA 103/03/D087 „Ověření trvanlivosti nových materiálů z druhotných surovin jako limitujícího faktoru jejich použití ve stavebních konstrukcích“.

### 6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DROCHYTKA, R. a kol.: *Keramické obklady a dlažby*. 1. vydání. VEGA s.r.o., Hradec Králové, 2000, 187 s. ISBN 80-900860-5-5
- [2] DROCHYTKA, R. – DOHNÁLEK, J. – BYDŽOVSKÝ, J. – PUMPR, V.: *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK II*. 1. vydání. Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, Brno, 2003, 210 s. ISBN 80-239-0516-3
- [3] EMMONS, P. H. – DROCHYTKA, R., JEŘÁBEK, Z.: *Sanace a údržba betonu v ilustracích*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, Brno, 1999, 334 s. ISBN 0-87629-286-4
- [4] MATOUŠEK, M. – DROCHYTKA, R.: *Atmosférická koroze betonu*. 1. vydání. IKAS, 1998, Praha, 171 s. ISBN 80-902558-0-9
- [5] PYTLÍK, P. – SOKOLÁŘ, R.: *Stavební keramika – technologie, vlastnosti a využití*. Vol 1. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2002, 287 s. ISBN 80-7204-234-3.
- [6] BRADÁČ, A.: *Teorie oceňování nemovitostí*. 2. vydání. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 1994, 482 s. ISBN 80-85867-36-2.
- [7] BRADÁČ, A. a kol.: *Soudní inženýrství*. 1. vydání. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 1999, 725 s. ISBN 80-7204-133-9
- [8] DROCHYTKA, R. – BYDŽOVSKÝ, J. – BROŽOVSKÝ, J. a kol.: *Stavební vady od A do Z* (v tisku).