

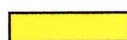


## VÝPOČET $d_i$ (71)

x	A	přímka	yA	C	yC	E	yE
1	7,18	11,5	7,2578	10,66	10,7866	11,02	10,9799
2	9,96	11,5	9,8168	11,71	11,2396	10,99	10,8102
3	11,27	11,5	11,2716	11,08	11,6582	10,31	11,0731
4	11,96	11,5	11,9168	12,19	12,0226	12,17	11,5838
5	11,71	11,5	12,0470	12,45	12,3130	12,42	12,1575
6	12,15	11,5	11,9568	12,47	12,5096	12,35	12,6094
7	12,02	11,5	11,9408	12,53	12,5926	12,54	12,7547
8	12,20	11,5	12,2936	12,56	12,5422	12,53	12,4086
	3,252751		11,4995				
	2,609262				11,5000		
	3,852380						11,5000

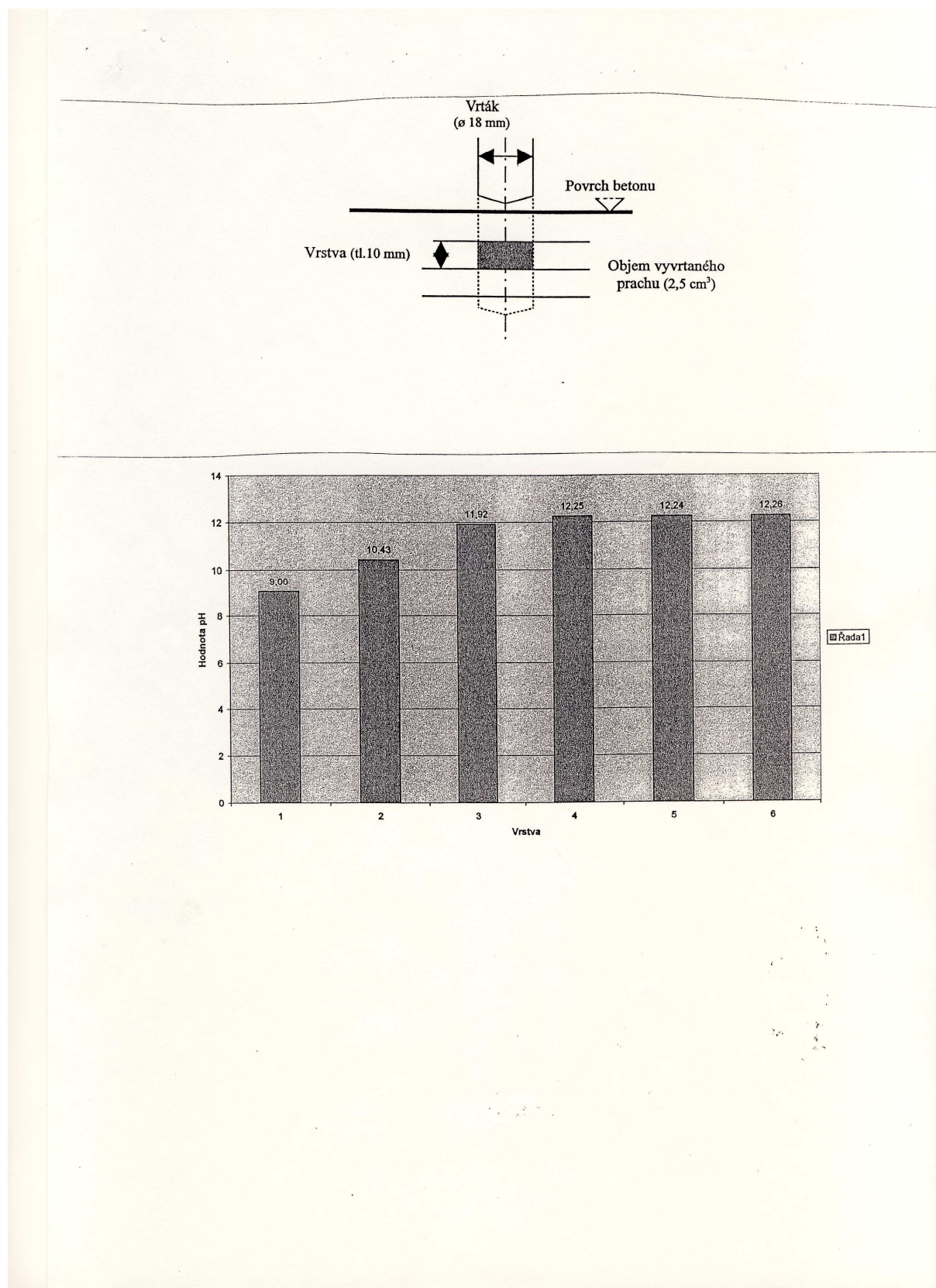


měřené hodnoty



výsledek







- 7 -

Anotace

Název vynálezu: Způsob zjišťování degradace betonu a zařízení k provádění tohoto způsobu.

Vynález se týká diagnostikování betonové konstrukce, kdy se v zadaném místě provede pomocí běžné příklepové vrtačky s vrtákem do betonu a vybavené dorazovým zařízením, vrt požadované hloubky. Vrt se provádí postupně po jednotlivých vrstvách, z nichž se odděleně pomocí odsávání odebírá vrtaný produkt. Prach se poté vyluhuje v destilované vodě. Po ustálení se pomocí digitálního pH metru změří pH všech výluhů. Ze získaných hodnot pH lze prokazatelně určit hloubku degradace betonu. Je-li  $\text{pH} > 9,5$ , je beton zdravý, je-li  $\text{pH} < 9,5$ , je beton degradací narušen.



- 6 -

## P A T E N T O V É   N Á R O K Y

1. Způsob zjišťování degradace betonu, **vyznačující se tím, že** se do zkoušeného betonového výrobku vyvrtá otvor o průměru 6 až 20 mm po vrstvách 5 až 15 mm, vyvrtaný prach se odsává a poté se smísí s destilovanou vodou, tato směs se ustálí a poté se změří její PH, přičemž pokud je PH menší než 9,5 je beton degradován.
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** se smísí prach o objemu 2 cm<sup>3</sup> s 25 ml destilované vody, tato směs se ustálí alespoň 15 minut, načež se u takto získané kapaliny změří PH.
3. Zařízení k provádění způsobu podle kteréhokoli z uvedených nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím, že** sestává z příklepové vrtačky s dorazovým zařízením a vrtákem, odsávacího zařízení vyvrtaného prachu a zařízení pro měření PH.



-5-

Vrstva 4	30 - 40 mm
Vrstva 5	40 - 50 mm
Vrstva 6	50 - 60 mm

Získaný prach jednotlivých vrstev byl poté vyluhován třesením v skleněných uzavřených nádobkách po smísení s 25 ml destilované vody a po více než 4 hodinách ustálení bylo provedeno změření pH. Pro měření potenciometrickou metodou byl užit digitální pH-metr WHV PM 210/23.

Naměřené hodnoty pH jednotlivých vrstev byly poté vyneseny do grafu, který dokumentuje změnu pH směrem od povrchu betonu a naznačuje, do jaké hloubky degradace postoupila a v jaké hloubce již beton není degradací zasažen.

Získaný průběh změny pH dobře koresponduje s fenolftaleinovým testem, který byl posléze proveden po rozlomení na vnitřku vývrtu.

#### Průmyslová využitelnost

Způsob zjišťování degradace betonu a zařízení k provádění tohoto způsobu podle tohoto vynálezu nalezne uplatnění především ve stavebnictví v oblastech provozování a údržby všech základních fondů, jejichž stavebním materiálem je beton, který po část doby své existence mohl být vystaven působení atmosférických vlivů ovzduší. Vynález lze rovněž využít při provádění stavebního průzkumu starších betonových konstrukcí, kdy na základě získaných výsledků může být spolehlivě rozhodnuto o způsobu opravy.



-4-

běžného průměru, opatřenou dorazovým zařízením, umožňujícím odběr po vrstvách zvolené mocnosti. Po odběru vzorku se vývrt uvede do původního stavu vyplněním cementovou maltou.

#### Přehled obrázků na výkresech

Způsob zjišťování degradace betonu a zařízení k provádění tohoto způsobu podle tohoto technického řešení bude podrobněji popsán na konkrétních příkladech provedení s pomocí příložených výkresů, kde na obr. 1 je znázorněno schéma odběru vzorku vrtáním. Na obr. 2 je znázorněn průběh změny PH v jednotlivých vrstvách.

#### Příklady provedení technického řešení

Realizace vynálezu je dokumentována následujícím příkladem postupu. Jako vzorek diagnostikovaného betonu byla zvolena část nájezdu na chodník, prokazatelně betonovaná před 18 roky. Za dobu existence byla vystavena působení všech vlivů ovzduší za přirozeného střídání vlhkosti a teploty, bez expozice jiných negativních vlivů, např. chloridů. Fenolftaleinovým testem na povrchu betonu byla prokázána existence příznaků degradace.

Příklepovou vrtačkou s vrtákem do betonu  $\varnothing$  18 mm, na kterou bylo upevněné dorazové pravítko umožňující vrtání rozfázovat po 10 mm záběrech, bylo prováděno odvrtání jednotlivých vrstev za současného odsávání zplodin vrtání - prachu z betonu - pomocí ručního vysavače.

Vrtání bylo provedeno v těchto záběrech:

Vrstva 1	0 - 10 mm
Vrstva 2	10 - 20 mm
Vrstva 3	20 - 30 mm



-3-

metody nedestruktivní, jako je ultrazvuk, prozařování, akustická emise a podobně, založené na porovnávání odezvy materiálu na průchod zvoleným médiem. Zatímco pro diagnostiku degradace betonu se vhodnou nedestruktivní metodu nepodařilo aplikovat, metody destruktivní jsou spolehlivé, avšak finančně i časově jsou velmi náročné.

#### Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny způsobem zjišťování degradace betonu podle tohoto vynálezu. Jeho podstatou je to, že se do zkoušeného betonového výrobku vyvrtá otvor o průměru 6 až 20 mm po vrstvách 5 až 15 mm. Vyvrtaný prach se odsává a poté se smísí s destilovanou vodou, tato směs se ustálí a poté se změří její PH. Pokud je PH menší než 9,5, je beton degradován.

Ve výhodném provedení se smísí prach o objemu 2 cm<sup>3</sup> s 25 ml destilované vody, tato směs se ustálí alespoň 15 minut, načež se u takto získané kapaliny změří PH.

Podstatou vynálezu je dále zařízení k provádění uvedeného způsobu, které sestává z příklepové vrtačky s dorazovým zařízením a vrtákem, odsávacího zařízení vyvrtaného prachu a zařízení pro měření PH.

Vynález tedy řeší způsob zjištění průběhu hodnoty pH v jednotlivých vrstvách v požadovaném místě dané betonové konstrukce, z něhož lze odvodit degradovanou tloušťku betonu od povrchu směrem dovnitř. Hodnota pH jednotlivých vrstev se snadno zjistí potenciometrickým měřením výluhu prachu betonu v destilované vodě. Prach betonu se získá jednoduchým odsátím při vrtání běžnou příklepovou vrtačkou s vrtákem do betonu



-2-

nazýváno degradací betonu. Ta postupuje v betonu velmi pomalu od povrchu směrem dovnitř v závislosti na mnoha faktorech. U železobetonu je potom rozhodující stadium, kdy degradace dosáhne tloušťky větší než je krytí výztuže. To je začátek rezivění výztuže, v důsledku čehož vznikající pasivační tlaky způsobí odloupení betonu. Řešení způsobu opravy se odvíjejí od rozsahu degradace, v příznivějších případech postačí sanační nátěry, mnohdy však bude nezbytné konstrukci odstranit.

Nový beton je z chemického hlediska silně alkalický, jeho hodnota pH je 11,5 až 12,6, což z hlediska ochrany výztuže proti rezivění tvoří příznivé prostředí. Budou-li do jeho kapilár pronikat i v malých koncentracích v ovzduší obsažené oxidy uhličitý a siřičitý, za předpokladu určité vlhkosti a teploty začnou uvnitř probíhat složité chemické reakce, během kterých původní jemnozrnné krystaly cementového tmelu mění svoji strukturu na hrubozrnné modifikace, což má za následek ztrátu pevnosti a celistvosti betonu. Proces je provázen poklesem hodnoty pH. V degradované vrstvě začíná výztuž rezivět. Pokles hodnoty pH pod 9,5 naznačuje degradaci betonu. Pokles alkality lze dokumentovat jednoduchým fenolftaleinovým testem. Nanese-li se na povrch betonu 1 % roztok fenolftaleinu v lihu, zdravý zásaditý beton zůstane nezbarven, zatímco beton s hodnotou pH pod 9,5 se fialově zbarví. Fenolftaleinový test patří mezi kolorimetrické metody stanovení pH.

Spolehlivé zjištění hloubky degradace má pro posouzení stavu starší betonové konstrukce základní význam. Dnes užívané způsoby lze rozdělit na metody destruktivní, založené na odběru vzorků pomocí jádrových vývrtů zpravidla  $\varnothing$  100 mm a následném provedení nejrůznějších rozborů v laboratoři za účelem zjištění fyzikálních a chemických vlastností, a na



-1-

Způsob zjišťování degradace betonu a zařízení k provádění tohoto způsobu.

#### Oblast techniky

Vynález se týká způsobu zjišťování degradace betonu, a zařízení k provádění tohoto způsobu. Vynález se týká oblasti provozování a údržby všech základních fondů, jejichž stavebním materiálem je beton, který po část doby své existence mohl být vystaven působení atmosférických vlivů ovzduší. Důsledkem tohoto působení může být zhoršení fyzikálních vlastností betonu, které může vést ke vzniku poruchového stavu.

#### Dosavadní stav techniky

Od druhé poloviny 19. století v návaznosti na vynález cementu se začala rozvíjet výroba betonu jako nového stavebního materiálu. Předností byla možnost vytvářet díly požadovaného tvaru s potřebnou pevností, odolností proti mechanickému poškození a trvanlivostí. Jeho výroba neustále narůstala se současným poznáváním jeho vlastností, zdokonalováním technologie výroby a vývojem teorií pro návrh. Lze odhadnout, že k dnešnímu dni jen v České republice jsou zabudovány stovky milionů tun betonu většinou neznámé kvality a stáří.

Před necelými čtyřiceti lety byla opuštěna představa věčné trvanlivosti betonu. Byly zveřejněny první práce rozebírající poruchy a havárie betonových konstrukcí, jejichž příčinou bylo zhoršení vlastností betonu v dlouhodobém procesu, jehož zákonitosti nebyly známe. Zhoršení vlastností betonu je obecně

**11 PŮVODCE**

1. Příjmení **MAREŠ Ing.** Počet původců **1**

Jméno **Jiří**  
Ulice **Mezi Zahradami 126**  
Město **Pardubice** PSČ **530 09**  
Stát **ČR**

2. Příjmení  
Jméno  
Ulice  
Město PSČ  
Stát

3. Příjmení  
Jméno  
Ulice  
Město  
Stát

4. Příjmení  
Jméno  
Ulice  
Město  
Stát

5. Příjmení  
Jméno  
Ulice  
Město PSČ  
Stát

**Místo pro vyznačení způsobu platby**

**Správní poplatek je splatný při podání přihlášky a je placen\*:**

V pokladně ÚPV  
Převodem z účtu  
Poštovní poukázkou  
Kolkem – zde nalepit

**\* Nehodící se škrtněte**

Potvrzuji pravdivost a úplnost shora uvedených údajů a žádám o udělení patentu

-----  
podpis přihlašovatele nebo jeho zástupce (případně razítko u právnických osob)



**Úřad průmyslového vlastnictví**  
Antonína Čermáka 2a, 160 68 Praha 6  
Telefon: (02) 203 83 111, (02) 2431 1555  
Fax: (02) 2432 4718

**OSOBNĚ**

**PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU**  
se žádostí o udělení patentu

č. jednací, datum podání

**PV 2008-349**  
06.06.2008 12:07:18

**Úřad průmyslového vlastnictví**  
- 6 -06- 2008  
Antonína Čermáka 2a  
160 68 Praha 6

vyplní Úřad

**1 Druh přihlášky**

Přihláška národní  Přihláška PCT – národní fáze, číslo přihlášky PCT

Přihláška zahraniční  Přihláška vyloučená z původně podané PV číslo

**2 Název vynálezu**  
Způsob zjišťování degradace betonu a zařízení k provádění tohoto způsobu.

**3 PŘIHLAŠOVATEL (je-li více přihlašovatelů pokračujte na straně 2)**

1. Příjmení (název) **MAREŠ Ing.**

Jméno **Jiří**

Ulice **Mezi Zahradami 126**

Město **Pardubice** PSČ **530 09**

Stát **ČR**

Telefon  Fax

Počet přihlašovatelů **1**

Přihlašovatel je i původce  ano  ne

**4 Zástupce přihlašovatele**

Příjmení (název) **Kratochvíl Ing.**

Jméno **Václav**

Ulice **Táborská 785/33**

Město **Mladá Boleslav** PSČ **29301**

Stát **ČR**

Telefon **602 370 998** Fax **224 355 274**

V případě generální moci uveďte číslo přidělené Úřadem

Číslo jednací zástupce **V283**

**5 Adresa pro doručování**  
(vyplňuje se jen v případě, že jde o adresu odlišnou od adresy **3** nebo **4**)

Příjmení (název) **Ing. Václav Kratochvíl, patentový zástupce**

Jméno

Ulice

Město

Stát

Telefon

**České vysoké učení technické v Praze**  
**Rektorát - PATENTOVÉ STŘEDISKO**  
Žitkova 4, 166 36 Praha 6  
tel.: 224 355 274-7 fax: 224 355 374  
IČ: 68407700 DIČ: CZ68407700

**6 Seznam příloh**

1x popis vynálezu v

1x patentové nároky

1x anotace

3x obrázek k anotaci

3x počet výkresů v sadě

1x doklad o nabytí práva na patent

1x plná moc

1x potvrzení o deponování mikroorganismů

1x žádost o úplný průzkum

počet prioritních dokladů

počet dalších dokladů

Počet doplňujících listů



- Vápenité a hydroxidové povlaky odstraňte 10% HCl po dobu 10 s
- Sulfidové povlaky (zčernalá membrána) odstraníte ponořením do speciálního přípravku WTW na čištění membrán na 10 s.
- Povlak bílkovin lze odstranit pepsinovým přípravkem.

#### Stárnutí elektrody:

Každá membránová elektroda podléhá přirozenému procesu stárnutí. Odezva na změnu pH je pomalejší, kalibrační směrnice elektrody se snižuje. Stárnutí elektrody se urychluje nevhodným skladováním, měřením v roztocích obsahujících sulfidy, vápenité látky a bílkoviny, zvýšenou teplotou, popř. velkými změnami pH a teploty. Výrobce nepřebírá záruky za škody vzniklé mechanickým poškozením elektrody a jejím použitím v agresivních médiích.

#### Elektroda SenTix 50

-----

Je přesná obdoba elektrody SenTix 97, oproti které však není vybavena teplotním snímačem. Proto i pokyny k uvedení do provozu a údržbě jsou zcela stejné.

#### Teplotní snímač TFK 325/HC

-----

Princip měření:	NTC 30 kOhm při 25°C
Rozsah měření:	0 ... 100°C
Nepřesnost:	<0.25K při 25°C
Ponor při provozu:	10 ... 110 mm
Průměr snímače:	4 mm
Doba odezvy $t_{99}$	<15s
Materiál snímače:	VA 1.4571
Konektor:	2 x banánek 4 mm
Délka kabelu:	1 m, resp. 4 m u varianty TFK 325/HC-4
Doporučená elektroda:	SenTix 50

vyrábí:

**W T W GmbH**  
Spolková republika Německo

Renomovaný evropský výrobce  
laboratorních přístrojů

dodává:

**EKOTECH s.r.o.**  
Kosmonautů 324, 530 09 PARDUBICE

Dodavatel širokého sortimentu  
laboratorní techniky



Dále se skutečně může průběžně měnit pH, např. vlivem chemických reakcí (absorpce CO<sub>2</sub> ze vzduchu apod.), nebo se může měnit teplota vzorku. Příčinou může být např. i nízká iontová síla roztoku či použitá nevhodná elektroda. Pro speciální účely používejte speciální elektrody (pro iontové slabé roztoky, vysoké hodnoty pH).

Ve výjimečných případech se může stát, že program procesoru "zabloudí" a dále nereaguje na stisk žádných tlačítek. V tom případě je nutné pH-metr resetovat (zapnutí při stisknutém tlačítku RUN/ENTER).

Posledním možným chybovým hlášením je "to" (tj. "time out", neboli neohlášení se periferního zařízení včas dle protokolu. V tom případě je nutné přezkoušení tohoto periferního zařízení.

#### Elektroda SenTix 97

Rozsah pH:	0 ... 14
Přípustný rozsah teploty:	-5 ... 80°C
Referenční elektrolyt:	Ag/AgCl v gelu
Maximální ponoření:	120 mm
Minimální ponoření:	18 mm
Vnější průměr elektrody:	12 mm
Materiál pouzdra:	PPO
Délka kabelu:	1 m SenTix 97 T 4 m SenTix 97 T-4
Strmost:	57.0 ... 60.5 mV/pH
Vyrovnání asymetrie:	6.75 ... 7.25 pH
Ustálení t95	< 50 s
t99	<130 s

#### Uvedení do provozu:

- Sundejte ochrannou čepičku
- Ponořte do neutrálního pufru na dobu ca 10 minut
- Zkalibrujte dle návodu

Vyschnutou elektrodu máčejte 24 h v neutrálním pufru nebo lépe 3M-KCl. Transportujte s čepičkou naplněnou KCl. Během transportu může část roztoku uniknout a vyschnout, což vede k vytvoření bílé krusty, která je však elektrodě neškodná a snadno omytelná vodou.

#### Skladování elektrody:

- Membránu elektrody udržujte stále vlhkou. K tomuto účelu nasazujte ochrannou čepičku s roztokem KCl nebo elektrodu přechovávejte v kádince s membránou ponořenou do KCl. Výrobce nedoporučuje přechovávání v samotné destilované vodě.

#### Čištění elektrody:

- Vodorozpustné nečistoty odstraňte oplachem v destilované vodě
- Mastnoty a oleje odstraňte oplachem v horké vodě s přidávkou běžného saponátového přípravku

Pokud je výstup aktivní, pak při režimu měření pH nebo mV při každém stisku tlačítka RUN/ENTER přístroj odešle hodnotu pH následovanou teplotou ve stupních Celsia.

Podobně se provádí i výstup dat z paměti: při aktivním výstupu "SEr On" se tlačítkem RCL zapne paměťová funkce, tlačítkem RUN/ENTER se provádí přenos hodnot z paměti od nejstarší po nejnovější hodnotu.

#### VIII. Napájení přístroje

Zdroj má životnost 5000 h (alkalická baterie) resp. 1500 h (nový NiCd Aku). Vysoká životnost zdroje je dosažena jednak nízkým odběrem proudu z baterie, jednak automatickým vypnutím pH-metru po jedné hodině provozu, pokud mezitím nedojde ke stisku jakéhokoliv tlačítka. Výjimkou je provoz se zapnutou periferií ("SEr On"), kdy je provoz trvalý a přístroj se automaticky nevypíná.

Při poklesu napájecího napětí pod dostatečnou mez se v levé části displeje objeví hlášení "LoBat". Přístroj lze ještě po dobu min. 10 h používat, ale přesto je to pokyn k urychlené výměně baterií nebo nabití akumulátoru.

**POZOR:** Před otevřením přístroje jej vypněte a odpojte elektrodu popř. výstupní kabel!!!

Výměna baterií se provede povolením 4 šroubů na spodní straně přístroje. Vyměnit je třeba vždy všechny 4 baterie, přitom je nutno pečlivě dbát na jejich správnou polaritu!!! Používejte pouze kvalitní alkalické baterie. Baterie nedobré kvality mohou zkorodovat a jejich elektrolyt může poničit vnitřní elektroniku přístroje!!!

Při použití akumulátorové verze je nabíjecí doba ca 16 hodin. Nikdy nenabíjejte přístroj, který má místo akumulátoru vložené obyčejné baterie!!!

#### IX. RESET všech hodnot

Podržetím tlačítka RUN/ENTER při zapnutí přístroje se provede resetování, při kterém se nastaví strmost na teoretickou hodnotu -59.2 mV/pH a asymetrie na 0 mV.

#### Chybová hlášení a jejich odstranění

OFL Překročení rozsahu displeje

Příčinou je pravděpodobně vadná elektroda: zlomený kabel, vyschlý elektrolyt, vzduchová bublinka v diafragmě

E3 Chybná kalibrační data

Příčinou mohou být nečistoty na membráně nebo diafragmě, které je třeba odstranit.

Další příčinou může být použití nevhodných nebo starých pufrů.

Pokud kalibrace proběhne bez potíží, mohou i potom ještě nastat nesnáze během měření pH. Pokud se stane, že měřená hodnota pH není stabilní, může to mít několik různých příčin. Především to může být příznak znečištěné membrány nebo diafragmy, které je třeba očistit.



Pokud je tato funkce zapnuta, měření pH se provádí takto: Elektroda se vnoří do měřeného vzorku a měření se odstartuje tlačítkem "RUN/ENTER". Hodnota pH na displeji se postupně ustaluje ke správné hodnotě, přičemž bliká kontrolka "AR" v pravé spodní části displeje. Jakmile procesor přístroje usoudí, že je hodnota dostatečně stabilní, "zmrazí" se tento údaj na displeji a již se více nemění. Další měření odstartujeme tlačítkem RUN/ENTER, popř. tlačítkem "AR" kdykoliv funkci AUTOREAD zrušíme.

## VI. Paměťové funkce

### Paměťové funkce - zápis dat

Přístroj umožňuje uložení 50 naměřených dat do paměti a jejich pozdější odečtení z paměti (popř. výpis na tiskárnu - jen pH325).

Zápis do paměti se provede tlačítkem STO. Na displeji se v pravém dolním rohu objeví značka Mem indikující zapnutí paměťových funkcí a naměřená hodnota se uloží do první volné paměti, jejíž číslo se zároveň vypíše na displeji pod měřenou hodnotou v místě, kde se jindy píše aktuální teplota. Dalším stiskem STO se zapíše další hodnota do následujícího paměťového registru. Po zapsání 50 hodnot se při pokusu o zápis na displeji objeví chybové hlášení "Full Sto".

Pokud je paměť plná, tlačítkem RUN/ENTER při zapnuté paměťové funkci se přepíše počínaje jedničkou již zaplněné paměťové místo. Jakékoliv jiné tlačítko, např. pH/mV, zabrání přepisu a vypne paměťovou funkci.

### Paměťové funkce - přečtení dat

Přečtení dat je možné jen v režimu pH/mV. Provede se tlačítkem RCL, kterým se zapne paměťová funkce. Na displeji se objeví "zmrazená" hodnota z naposledy uloženého paměťového místa, a v pravém dolním rohu displeje se objeví značka "MEM". Tlačítkem s šípkami lze pak procházet všechna paměťová místa a odečítat naměřené hodnoty. Zrychlení průchodu paměťmi se provede podržením tlačítka se šípkou. Vypnutí paměťové funkce se provede tlačítkem pH/mV, kterým se přístroj přepne zpět do režimu měření.

### Paměťové funkce - vymazání paměti

Paměti lze vymazat podržením tlačítka STO při zapnutí přístroje. Pokud jsou některé paměti obsazeny, objeví se na displeji hlášení "Clr Sto". Potom pokud se stiskne tlačítko RUN/ENTER, vymažou se všechny paměti a čítač paměti se nastaví na jedničku. Pokud se místo toho stiskne tlačítko pH/mV, paměti se nevymažou a čítač zůstane nastaven na první volné paměti.

## VII. Digitální výstup

Rozhraní je standardní RS 232C, připojení tiskárny či počítače se provede pomocí kablíku AK 325/B. Přenosová rychlost je 4800 baudů, s 8 datovými bity a 1 stop-bitem. Handshake je typu RTS/CTS.

Aktivace datového výstupu se provede takto: Při vypnutém pH-metru se podrží stisknuté tlačítko pH/mV a přístroj se zapne. Na displeji se objeví hlášení "SER On". Vypnutí výstupu se provede stejně: vypnutím přístroje, podržením pH/mV a zapnutím.



Po zvolení požadovaného režimu ponořte elektrodu do prvního pufru (musí být ze zvolené pufrové řady, ale na pořadí nezáleží) a po chvíli stiskněte tlačítko RUN/ENTER. Tato prodleva může být u nových elektrod velmi krátká, se starší elektrodou je vhodné vyčkat delší dobu. Zkušenosti ukazují, že ani delší prodleva (např. 5 minut) není na závadu a může naopak zpřesnit kalibraci.

Po stisku RUN/ENTER začne blikat symbol "AR" na displeji. Přístroj měří napětí na elektrodě a průběžně je vypisuje na displeji. Jakmile procesor zjistí ustálený stav, zmizí kontrolka "AR" a na displeji se objeví pokyn pro vložení elektrody do druhého pufru (písmena Cd2 při standardních pufrech, popř. Ct2 při technických). Elektrodu tedy vyjměte z prvního pufru, řádně opláchněte destilovanou vodou a vložte do druhého pufru. Po určité prodlevě (viz výše) stiskněte tlačítko RUN/ENTER. Procesor opět bliká kontrolkou "AR" a jakmile zjistí ustálení měřených hodnot napětí, vypíše na displeji strmost elektrody v mV/pH, a po stisku tlačítka RUN/ENTER pak asymetrii v mV. Další stisk RUN/ENTER přepne přístroj do režimu měření pH.

Pokud nedojde k ustálení měřeného napětí nebo je jeho hodnota v nepřipustných mezích, objeví se na displeji chybové hlášení "E3".

Analogicky se provádí i kalibrace na uživatelem definované pufrů. Po zvolení tohoto režimu se na displeji objeví písmena "ASY". Při této kalibraci je nejprve třeba použít neutrální pufr  $7.00 \pm 0.5$  pH. Po ponoření elektrody do tohoto pufru (a případné prodlevě, viz výše) stiskneme tlačítko RUN/ENTER. Na displeji se objeví určitá hodnota pH pufru, kterou upravíme na příslušnou hodnotu pufru tlačítky šipek a po jejím dokonalém ustálení potvrdíme tlačítkem RUN/ENTER. Probíhá měření napětí, které se vypisuje na displeji. Znovu stiskneme RUN/ENTER a na displeji se objeví písmena "SLO" jako žádost o druhý pufr. Elektrodu důkladně opláchneme, vložíme do druhého roztoku a stiskneme RUN/ENTER. Na displeji se objeví druhá hodnota pH, která se postupně ustaluje k určité hodnotě (tím rychleji, čím je elektroda novější). Konečnou hodnotu pak tlačítky šipek upravíme na správnou hodnotu a potvrdíme tlačítkem RUN/ENTER. Na displeji se objeví strmost elektrody a po stisku RUN/ENTER i její asymetrie. Posledním stiskem RUN/ENTER převedeme přístroj do režimu měření pH.

Máme-li k dispozici pouze jediný pufr, lze provést i zjednodušenou jednobodovou kalibraci, ovšem na úkor přesnosti. Zvolí se opět režim kalibrace "ConCal", tj. s písmeny "ASY" na displeji. Pak se elektroda ponoří do roztoku pufru, např. o pH 1.49 a stiskne se tlačítko RUN/ENTER. Na displeji se objeví číselná hodnota pH, která se postupně ustaluje k nějaké konečné hodnotě, kterou pak tlačítky šipek upravíme na správnou hodnotu, v daném případě pH 1.49. Po stisku RUN/ENTER se na displeji vypíše asymetrie v mV, po dalším RUN/ENTER přejde pH-metr do režimu měření pH.

#### V. Funkce AUTOREAD.

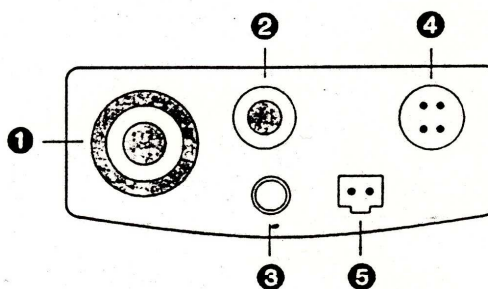
-----

Tato funkce slouží k tomu, abychom jednoduchým způsobem mohli odečítat naměřené hodnoty až po jejich dokonalém ustálení. Zapnutí funkce se provede stiskem tlačítka "AR" a tato písmena jsou i zobrazena na displeji, dokud se funkce dalším stiskem "AR" nevyjme.



- 1 Rolovací režim přepínání pH-mV
- 2 Rolovací režim způsobu kalibrace
- 3 Vypnutí/zapnutí přístroje
- 4 Vypnutí/zapnutí funkce AutoRead
- 5 Potvrzení zadaných dat, spuštění měření při AutoRead
- 6 Tlačítka pro zvýšení/snížení zadávané num.hodnoty
- 7 Uložení naměřené hodnoty do paměti
- 8 Vyvolání naměřené hodnoty z paměti

Konektory na zadní straně přístroje:



Připojení kombinované elektrody se provede do konektoru 1

Při použití samostatné měrné elektrody se tato připojí do konektoru 1 a referenční elektroda do konektoru 3

Při použití elektrody s integrovaným čidlem se připojí elektroda do konektoru 1 a čidlo do 2

Samostatný teplotní snímač se připojuje mezi zdičky 2 a 3

Zapisovač se připojuje do zdičky 4 (pouze pH 323)

RS232 periférie se připojuje do 4 (pouze pH 325)

Síťový adaptér se připojuje do zdičky 5 (pouze AKU verze)

### III.Uvedení do provozu

Připojte elektrodu popř. jiné příslušenství do konektorů dle minulé kapitoly návodu.

Po zapnutí přístroje se na displeji nejprve na okamžik zobrazí všechny symboly současně. Při tomto testu lze zkontrolovat, zda jsou všechny segmenty displeje funkční. Poté se v rychlém sledu zobrazí postupně naposledy platné hodnoty strmosti a asymetrie elektrody. Nakonec se přístroj přepne do naposledy zvoleného režimu měření (např. měření pH) a setrvá v čekání na další pokyny.

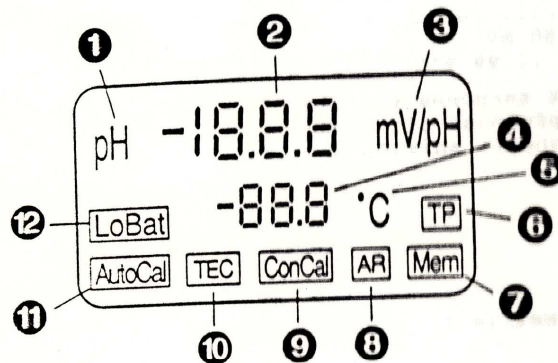
### IV.Kalibrace

Tlačítkem kalibrace zvolíme požadovaný režim měření: Pro kalibraci s technickými pufry volíme režim označený v levém dolním rohu displeje písmeny AutoCal a TEC, pro kalibraci se standardními pufry pouze AutoCal, a konečně pro libovolně definované pufry označení ConCal. Každým stiskem tlačítka CAL se režim cyklicky mění.

**POZOR:** není-li připojené teplotní čidlo, je nutné manuálně nastavit teplotu pufrových roztoků tlačítky se šipkami !!!

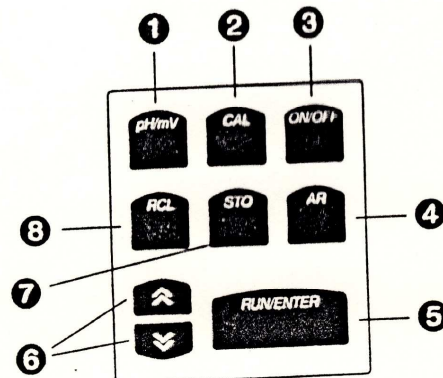
## II. Popis přístroje

Displej:



- 1 Měřená veličina
- 2 Označení měřené veličiny (pH, mV, strmost, asymetrie)
- 3 Jednotka měřené veličiny
- 4 Displej pro teplotu a numerator
- 5 Jednotky °C
- 6 Kontrolka teplotního snímače
- 7 Kontrolka paměťových funkcí
- 8 Kontrola režimu AR: blikající údaj znamená neustálenou hodnotu
- 9 Konvenční kalibrace: s uživatelsky definovanými pufrů
- 10 Auto-Cal kalibrace: s technickými pufrů 4.00 - 7.00 - 10.00
- 11 Auto-Cal kalibrace: se standardními pufrů 4.00 - 6.87 - 9.18
- 12 Kontrolka stavu baterie (resp. akumulátoru)

Klávesnice:





## Návod k použití

### Mikroprocesorový digitální pH-metr WTW · 320/323/325

#### I. Technická data

##### Rozsah a přesnost měřených veličin:

pH: -2.00... 16.00 / ± 0.01 pH ±1 cifra  
 mV: ±1250 mV / ± 1 mV ±2 cifra  
 T : -5.0 ...99.9°C / ± 0.1 K ±1 cifra

Udaná přesnost zaručena v teplotním rozmezí od -10 do +50°C  
 Data udávají přesnost přístroje, celková přesnost měření závisí na přesnosti snímačů pH a teploty

Kalibrace:	automatická na předprogramované nebo nadefinované pufrы
Kalibrační pufrы:	WTW technické pufrы PL nebo TPL
Displej:	LCD multifunkční
Rozsah směrnice a asymetrie::	-62 .. -50 mV/pH, ± 30 mV
Teplotní kompenzace:	manuální 0 ... 100°C automat. s elektrodou SenTix 97
Vstupní odpor/proud	> 5 · 10 <sup>+12</sup> Ohm / < 5 · 10 <sup>-13</sup> A
Vstupní konektor:	pH elektroda DIN 19262 ref.elektroda 4 mm
Doporučená elektroda:	kombinovaná SenTix 97/ (s integr.teplotním snímačem) nebo SenTix 50 (se samostatným tepl.snímačem)
Teplotní snímač:	NTC (TFK 325) nebo Pt1000 rozpoznání snímače automatické
Analogový výstup (pH 323):	4 pólový kon.pro kabel AK323 přesnost ±0.1% ±4 mV R <sub>i</sub> < 1 Ohm, max 0.2 mA
Digitální výstup (pH 325):	4 pólový kon.pro kabel AK325 4800Bd, 8 bitů, 1 stopbit bez kontr.parity, kabel max.15m
Výsledková paměť:	pH nebo mV / Teplota 50 párů hodnot
Napájení:	4 x tužková 1.5 V (typ AA)
Životnost baterie:	ca 5000 h (alkalický článek) ca 1500 h (NiCd Aku)
Uchování kalibračních dat při výměně baterie:	ca 2 minuty
Rozměry (délka x šířka x výška):	172 x 80 x 37 mm
Hmotnost:	ca 300 g
Provozní podmínky:	teplota -10..+55°C vlhkost do 90%

**Prohlášení:**

Výsledky měření, uvedené ve zprávě, se týkají pouze části objektu, uvedené v identifikačních údajích na straně 1 této zprávy.

Zpráva může být reprodukována pouze v celku, s písemným souhlasem zkušební laboratoře.

Zkoušku provedl: Darius, Kudrna  
Zprávu zpracoval: Kudrna

Datum: 4.10.2007

*v.z. Kudrna*  
Ing. Miroslav Novotný  
vedoucí laboratoře

R: výtisk č. 1, 2 - Univerzita Pardubice  
Studentská 95, 532 10 Pardubice  
výtisk č. 3 - ÚSZ Pardubice





**1. Zadání:****1.1. Úvod:**

Dne 25.9.2007 byla na odřezech z vývrtů betonu z výše uvedené stavby provedena zkouška vlhkosti. Měření bylo provedeno za účelem zjištění aktuální vlhkosti betonu.

**1.2. Použité podklady:**

ČSN 73 2031 - Zkoušení stavebních objektů

**1.3. Použité zkušební a měřicí zařízení:**

prachovnice  
laboratorní sušárna  
laboratorní váhy PM 025

**1.4. Použitá zkušební metoda:**

Gravimetrické měření vlhkosti

**1.5. Podmínky zkoušení:**

Vlhkost byla zjišťována gravimetricky na odebraných vzorcích.

**2. Mechanicko- fyzikální vlastnosti materiálů:**

označení vzorků	poloha odběrného místa	vlhkost (%)
I - 1	řimsa	6,2
I - 2	řimsa	4,0
I - 3	řimsa	7,7

**3. Závěr:**

Vlhkost v místech odběru se pohybuje v hodnotách 6,0 a 4,0 a 7,7 %.



**Ústav stavebního zkušebnictví s.r.o.**  
J. Potůčka 115, 530 09 Pardubice - Trnová, tel. 466416304

---

Univerzita Pardubice  
Studentská 95  
532 10 Pardubice

## PROTOKOL O ZKOUŠCE 2007/294

### STANOVENÍ VLHKOSTI

**Identifikační údaje:**

Objednatel zkoušky:	<b>Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice</b>
Fakturač. a kontakt.:	Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice
Objednávka:	752500135 ze dne 26.9.2007
Stavba:	Silnice I./35 Týništko
Objekt:	most ev. č. 084
Konstrukce:	římša
Výrobce betonu:	neuveđen

- 1 -





## ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ s.r.o.

J. Potůčka 115, 530 09 Pardubice-Trnová – tel.: 466 416 304, fax: 466 430 635

Zkušební laboratoř je akreditována ČIA a registrována pod číslem 1115



### PROTOKOL O ZKOUŠCE č. A/07/2696

počet stran: 1  
strana: 1 z 1  
výtisk č.: 2

## ZKOUŠKA OBJEMOVÉ HMOTNOSTI BETONU

Objednatel zkoušky: **Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice**  
 Fakturač. a kontakt.: Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice  
 Objednávka: 752500135 ze dne 26.9.2007  
 Stavba: Silnice I./35 Týnišťko  
 Objekt: most ev. č. 084  
 Konstrukce: římsa  
 Výrobce betonu: neuveden

Třída betonu: **neuvedena**

Datum výroby, betonáže: neuvedeno  
 Datum odběru a dodání do laboratoře: 3.9.2007  
 Datum zkoušení těles: 25.9.2007  
 Stáří zkušebních těles: neuvedeno  
 Použitá zkušební metoda: ČSN EN 12390-7

Označení těles: viz tabulka  
 Vývrty zhotovil: ÚSZ – Sláma, Janoš  
 Druh zk. těles.: rozměry:  
 vývrt, rozměry odřezu viz tabulka  
 Druh zkoušky: ze stavby

Použitě měřicí a zkušební zařízení: váhy-e.č. 590, posuvné měř.-e.č.525, 526  
 Použitě složky (v kg/m<sup>3</sup>) – neuvedeno

#### Zjištěné výsledky

Tabulka č. 1

Číslo vzorku	I-1	I-2	I-3		
Průměr (mm)	100,0	100,0	99,0		
Výška (mm)	138,0	196,0	176,0		
Hmotnost (g)	2282	3356	2976		
Stav povrchu těles	bez porušení				
Úprava zkušebních těles	řezání				
Zkouška objemové hmotnosti ztvrdlého betonu ČSN EN 12390-7aku (kg.m <sup>3</sup> )	2110	2180	2200		
Stáří (dny)	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno		
Datum betonáže	neuveden	neuveden	neuveden		
Místo odběru vzorku v konstrukci	římsa				

Zkoušku provedl: Darius, Kudrna  
 Zpracoval: Kudrna

#### Poznámky:

#### Příloha:

Výsledky se týkají pouze zkušebních těles. Protokol nesmí být reprodukován bez písemného souhlasu zkušební laboratoře jinak než jako celek.

Datum: 4.10.2007

R: výtisk č. 1, 2 - Univerzita Pardubice  
 Studentská 95, 532 10 Pardubice  
 výtisk č. 3 - ÚSZ Pardubice

*v.z. Novotný*  
 Ing. Miroslav Novotný  
 vedoucí laboratoře





## ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ s.r.o.

J. Potůčka 115, 530 09 Pardubice-Třmová – tel.: 466 416 304, fax: 466 430 635

Zkušební laboratoř je akreditována ČIA a registrována pod číslem 1115



### PROTOKOL O ZKOUŠCE č. AJ07/2695

počet stran: 1  
strana: 1 z 1  
výtisk č.: 2

## ZKOUŠKA VÁLCOVÉ PEVNOSTI BETONU V TLAKU

Objednatel zkoušky: **Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice**  
Fakturač. a kontakt.: Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice  
Objednávka: 752500135 ze dne 26.9.2007  
Stavba: Silnice I./35 Týništěčko  
Objekt: most ev. č. 084  
Konstrukce: římsa  
Výrobce betonu: neuveden

Třída betonu: **neuvedená**

Datum výroby, betonáže: neuvedeno  
Datum odběru a dodání do laboratoře: 3.9.2007  
Datum zkoušení těles: 25.9.- 2.10.2007  
Stáří zkušebních těles: neuvedeno  
Použitá zkušební metoda: ČSN EN 12390-3

Označení těles: viz tabulka  
Vývrty zhotovili: ÚSZ – Sláma, Janoš  
Druh zk. těles., rozměry: vývrt, rozměry odřezu viz tabulka  
Druh zkoušky: ze stavby

Použitá měřicí a zkušební zařízení: zkušební lis-e.č. 002, váhy-e.č. 590, posuvné měř.-e.č.525, 526  
Použitá složky (v kg/m<sup>3</sup>) – neuvedeno

#### Zjištěné výsledky

Tabulka č. 1

Číslo vzorku	I-2			
Průměr (mm)	100,0			
Výška (mm)	146,0			
Stav povrchu těles	bez porušení			
Úprava zkušebních těles	řezání			
Objemová hmotnost (kg.m <sup>-3</sup> )	2180			
Zatížení při porušení (kN)	228200			
Zkouška pevnosti v tlaku zkušebních těles ČSN EN 12390-3	29,1			
válcová pevnost v tlaku (N.mm <sup>-2</sup> )				
Převodní součinitel $K_{0,01}$ dle ČSN 73 1317 <sup>1)</sup>	1,20			
Krychelná pevnost v tlaku (N.mm) <sup>2)</sup>	34,9			
Způsob porušení těles po zkoušce	vyhovující dle ČSN EN 12390-3			
Stáří (dny)	neuvedeno			
Datum betonáže	neuveden			
Místo odběru vzorku v konstrukci	římsa			

Zkoušku provedl: Darius, Kudrna

Zpracoval: Kudrna

#### Poznámky:

<sup>1)</sup>, <sup>2)</sup> - převodní součinitel dle ČSN 73 1317 a vypočítaná krychelná pevnost v tlaku jsou pouze informativní hodnoty.  
<sup>3)</sup> - pevnost v tlaku na zkušebních vzorcích byla zjištěna ve stavu přirozené vlhkosti

#### Příloha:

Výsledky se týkají pouze zkoušených těles. Protokol nesmí být reprodukován bez písemného souhlasu zkušební laboratoře jinak než jako celek.


Datum: 4.10.2007

R: výtisk č. 1, 2 - Univerzita Pardubice  
Studentská 95, 532 10 Pardubice  
výtisk č. 3 - ÚSZ Pardubice

Ing. Miroslav Novotný  
vedoucí laboratoře





	<b>ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ s.r.o.</b>
	Centrální pracoviště : J. Potůčka 115, 530 09 Pardubice – Trnová – tel.: 466 416 304 Střediska : Havlíčkův Brod, Svitavy
	<i>Zkušební laboratoř je akreditována ČIA a registrována pod číslem 1115</i>

## ZKOUŠKY BETONU

**Název stavby:** Silnice I./35 Týništěko  
**Objekt:** most ev. č. 084  
**Konstrukce:** římsa

### IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE:

#### Zadavatel:

Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

#### Zhotovitel:

Ústav stavebního zkušebnictví s.r.o., J. Potůčka 115, 530 09 Pardubice  
Akreditovaná zkušební laboratoř č. 1115 Pardubice

v. z. 

Ing. Miroslav Novotný  
vedoucí laboratoře

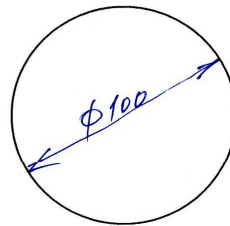
Přílohy: 1x protokol o zkoušce č.: A/07/2695  
1x protokol o zkoušce č.: A/07/2696  
1x protokol o zkoušce č.: 2007/294



## PROTOKOL MĚŘENÍ č.2007/.....<sup>9</sup>

Datum: 25. 9. 2007

Čas: 9: 40

Vzorek č.: .....<sup>2</sup>dl. 196 mm  
3356 g

## Přítomni:

prof. Měněk  
Jiří Kadrná  
František Darina  
Ing. Mareš

## Užité přístroje:

Schmidt. kl. N-16 - rodným  
40524

vrstva č.:	6
vzdálenost od povrchu:	45 mm

neroděleno

bod	pevnost (Mpa)	poznámky
1	30	
2	24	
3	31	
4	27	
5	26	
6	22	
7	27	
8	22	
9	25	
10	35	
11	35	
12	33	
13	24	
14	33	
15	28	
16	27	
17	43	
18	39	
19	25	
20	23	
<b>součet:</b>	579	579 : 20 = 28,95

Za správnost vyhotovení : .....  
*Handwritten signature*

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice



**PROTOKOL MĚŘENÍ**  
**č.2007/.....<sup>B</sup>**

Datum: 25. 9. 2007

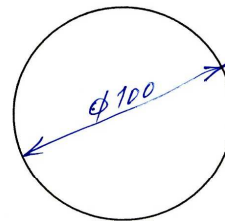
Čas: 9: 40

Vzorek č.: .....<sup>2</sup>**Přítomni:**

prof. Menešík  
Jiří Kadrná  
František Darius  
Ing. Mareš

**Užité přístroje:**

Schmidt. L. N-16 - *radsonne*  
40524



dl. 196 mm

3356 g

vrstva č.:	5
vzdálenost od povrchu:	34 mm

bod	pevnost (Mpa)	poznámky
1	36	
2	30	
3	42 x	
4	35	
5	41 x	
6	30	
7	28	
8	27 x	
9	35	
10	30	
11	26	
12	27	
13	36	
14	34	
15	30	
16	38	
17	30	
18	28	
19	28	
20	25	
<b>součet:</b>	633	633 : 20 = 31,65

Za správnost vyhotovení : .....  
*Mareš*

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice

## PROTOKOL MĚŘENÍ

### č.2007/.....<sup>7</sup>

Datum: 25.9.2007

Čas: 9:35

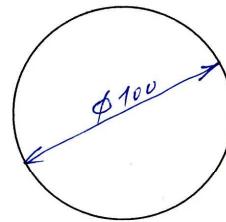
Vzorek č.: .....<sup>2</sup>

## Přítomni:

prof. Měřík  
Jiří Kadrník  
František Darius  
Ing. Mareš

## Užité přístroje:

Schmidt. kł. N-16 - v. d. r. m. -  
40524



dl. 196  
3 356 g

vrstva č.:	4
vzdálenost od povrchu:	24 mm

bod	pevnost (Mpa)								poznámky
1	29								
2	32								
3	21	x							
4	28								
5	35	x							
6	32								
7	25								
8	27								
9	27								
10	31								
11	25								
12	34								
13	35								
14	25								
15	28								
16	22								
17	30								
18	32								
19	31								
20	26								
<b>součet:</b>	577								577 : 20 = 28,85

Za správnost vyhotovení : .....<sup>Mareš</sup>

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice



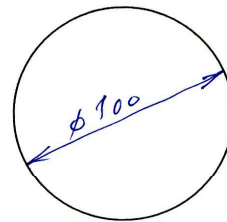
**PROTOKOL MĚŘENÍ**  
**č.2007/...6....**

Datum: 25.9.2007  
Čas: 9:30

Vzorek č.: ..... 2

**Přítomni:**  
prof. Mamič  
Jiří Kudrma  
František Darina  
Ing. Mareš

**Užité přístroje:**  
Schmidt. hl. N16 - vodorovně  
40524



dl 196 mm  
3 356 g

vrstva č.:	3
vzdálenost od povrchu:	11 mm

bod	pevnost (Mpa)	poznámky
1	34	
2	30	
3	25 X	
4	37	
5	32	
6	40 X	
7	36	
8	25 X	
9	40 X	
10	39	
11	31	
12	29	
13	30	
14	30	
15	45	
16	35	
17	30	
18	39	
19	30	
20	45	
<b>součet:</b>	<b>682</b>	$682 : 20 = 34,10$

Za správnost vyhotovení : ..... *[Signature]*

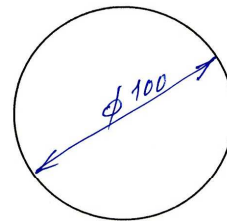
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice

## PROTOKOL MĚŘENÍ

### č.2007/...5.....

Datum: 25.9.2007

Čas: 9:20

Vzorek č.: .....<sup>2</sup>dl. 196 mm  
3356 g

## Přítomni:

prof. Muncík  
Jiří Kadrná  
Jiří Darius  
Jiří Mareš

## Užité přístroje:

Schmidt. kl. N16 - modrý  
40524

vrstva č.:	<u>2</u>
vzdálenost od povrchu :	<u>5</u> mm

bod	pevnost (Mpa)	poznámky					
1	30						
2	46						
3	32						
4	38						
5	34						
6	39						
7	42						
8	30						
9	43						
10	36						
11	33						
12	35						
13	34						
14	41						
15	44						
16	37						
17	32						
18	33						
19	28						
20	29						
<b>součet:</b>	<b>716</b>	716 : 20 = 35,80					

Za správnost vyhotovení : .....

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice



**PROTOKOL MĚŘENÍ**  
**č.2007/...<sup>4</sup>...**

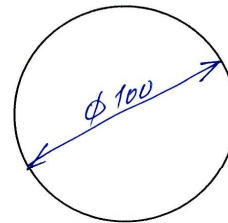
Datum: 25.9.2007

Čas: 9:10

Vzorek č.: .....<sup>2</sup>

Přítomni:  
prof. Meunier  
Jiří Kocerna  
František Darius  
Ly Marcs

Užité přístroje:

Schmidt. kl. N16 - nadzorová  
40524

dl 196 mm  
3356 g

vrstva č.: poslední - obvodová  
vzdálenost od povrchu : 196 mm

bod	pevnost (Mpa)	poznámky
1	24	
2	28	
3	26	
4	25	
5	21	
6	29	
7	29	
8	26	
9	28	
10	27	
11	31	
12	31	
13	21	
14	23	
15	26	
16	28	
17	30	
18	26	
19	25	
20	25	
<b>součet:</b>	529	529 : 20 = 26,46

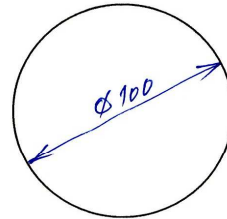
Za správnost vyhotovení : .....<sup>18.9.07</sup>.....

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice

## PROTOKOL MĚŘENÍ č.2007/.....<sup>3</sup>

Datum: 25.9.2007

Čas: 9:00

Vzorek č.: .....<sup>2</sup>

dl 196 mm

3356 g

## Přítomni:

prof. Měniček  
Jiří Kudrno  
Frant. Darina  
J. Mareš

## Užité přístroje:

Schmitt. dl. N 16 - vodorovně  
40524

vrstva č.:	1
vzdálenost od povrchu:	0 mm

bod	pevnost (Mpa)	poznámky
1	45	
2	44	
3	43	
4	41	
5	42	
6	45	
7	44	
8	36	
9	40	
10	39	
11	37	
12	42	
13	31	
14	37	
15	41	
16	39	
17	40	
18	41	
19	43	
20	41	
<b>součet:</b>	<b>811</b>	$B_{11:20} = 40,55$

Za správnost vyhotovení : *Shaw* .....

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Studentská 95, 53210 Pardubice

## Přílohy



- [36] UOMOTO, T. a kol. *Effect of cyclic Exposure of Carbonation and Chloride on Corrosion of reinforcing Steel in Concrete* In: Seisan Kenkyu 2005, pp 103-106, Institute of Industrial Science, University Tokyo  
<http://www.jstage.jst.go.jp/article/seisankenkyu>
- [37] WHITING, D.A. a kol. *Deterioration and Repair of Prestressed Concrete Bridge Members* In: Proceedings APWA International Public Works Congress, pp 70-74, Illinois <http://irc.nrc-crnc.gc.ca/pubs/fulltext>
- [38] WITZANY, J. *Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu* In: Stavební obzor číslo 8/2002, str. 225-249, (GAČR 103-02-0990)  
<http://karluvmost.cvut.cz>
- [39] WOLTER, A. *CO<sub>2</sub>-Wiedereinbindungspotentiale für Branntkalkprodukte* Memorandum Technische Universität Clausthal 2002, 9 s, <http://www.tu-clausthal.de>
- [40] YOON, I., S. *Influence of chemical spray sealing on the Durability of HSC* Delft University of Technology, DC Project Maintenance of Concrete Structures - Work Package code: 02-34-31, 2007, 3s  
<http://www.delftcluster.nl>
- [41] ŽIVICA, V. *Corrosion of reinforcement induced by environment containing chloride and carbon dioxide* In: Indian Academy of Sciences, Bull. Mater. Sci 2003 <http://www.ias.ac.in>

- [27] MAREŠ, J., MENČÍK, J., *Experimental assessment of concrete deterioration in existing bridges* In: Proceedings 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Reliability, Safety and Diagnostics of Transport Structure and Means, University of Pardubice 2008, pp. 197-201
- [28] McPOLIN, D., O. a kol. *New Test Method to Obtain pH Profiles due to Carbonation of Concretes Containing Supplementary Cementitious Materials* In: Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 19, No. 11, November 2007, str. 936-946 , [link.aip.org/link?JMCEE7/19/936/1](http://link.aip.org/link?JMCEE7/19/936/1)
- [29] NOVÁK, D. a kol. *Probabilistic assessment of existing deteriorating concrete structures* In: Sborník konference Reliability, safety and diagnostics, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera 2005, str. 257-264 [www.stm.fce.vutbr.cz](http://www.stm.fce.vutbr.cz)
- [30] POSPÍŠIL, K. a kol. *Využití metody akustické emise k hodnocení stavu mostních nosníků* In: Sborník XIII symposia SANACE SSBK Brno 2003, str 24-28, e-mail [pospasil@cdv.cz](mailto:pospasil@cdv.cz)
- [31] RAMEZANIANPOUR, A., a kol. *Concrete Carbonation Modelling and Monte Carlo Simulation Method for uncertainty Analysis of Stochastic Front Depth* In: Paper of Amirkabir University 1999, pp 57-61 [www.bhrc.ac.ir/Profile/Ramezianpour/INDEX.htm](http://www.bhrc.ac.ir/Profile/Ramezianpour/INDEX.htm)
- [32] RIGO DA SILVA, C.A. a kol. *Carbonation Related Microstructural Changes in Long-Term Durability Concrete* In: Material Research, Vol.5, No 3, 287-293 2002, Federal University Belo Horizonte, Brazil <http://www.scielo.br/pdf/mr/v5n3/v5n3a11.pdf>
- [33] SCHUBERT, K. *Einführung in die Bauchemie* - Přednáška na : Technische Universität Berlin 2007, 37 s – [www.deutsche-bauchemie.de](http://www.deutsche-bauchemie.de)
- [34] THAULOW, N. *Carbonation of Concrete Structures* - Přednáška pro : RJ Lee Group Inc., Monroeville USA, 2007, 27s [www.rjlg.com/thegroup/Professionals](http://www.rjlg.com/thegroup/Professionals)
- [35] THIERY, M. a kol. *A prediction model for concrete carbonation based on coupled CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-ions transfers and chemical reactions* In: 10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components, Lyon 2005, 8 s, e-mail [thiery@lcpc.fr](mailto:thiery@lcpc.fr)

- [17] HRDOUŠEK, V., FRANTOVÁ, M., ŠINDLER, D. *Rozbor příčin degradace mostních konstrukcí* In: CIDEAS<sup>7)</sup> 2006 , list 1.4.1.1, [www.cideas .cz](http://www.cideas.cz)
- [18] CHUN, Y.M., a kol. *Carbon Dioxide Sequestration in Concrete in Different Curing Environments* In: Proceedings of International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Coventry 2007, UK, 37 s [www.uwm.edu/Dept/CBU/Presentations/Coventry-CO2.pdf](http://www.uwm.edu/Dept/CBU/Presentations/Coventry-CO2.pdf)
- [19] JITTBODEE, K., a kol. *Carbonation Depth Prediction for Fly Ash Concrete* Paper of Thammasat University, Bangkok 2007, 6 s, [jittbodee@hotmail.com](mailto:jittbodee@hotmail.com)
- [20] KONEČNÝ, P. *Aspekty vyšetřování trvanlivosti betonu* Práce TU Ostrava, FAST 2005, 22 s, [http://fast.10.vsb.cz/konecny/files/beton\\_karbon.pdf](http://fast.10.vsb.cz/konecny/files/beton_karbon.pdf)
- [21] LIMAYE, B., R. a kol. *Need for NDT of Reinforced Concrete & Various ND Tests* In: Proceedings National Seminar of ISNT, Chennai 2002, 3 s, [www.nde.2002.org](http://www.nde.2002.org)
- [22] LINDON, K., A., S. *Should you be using more PFA?* In: Proceedings Dundee University Conference – Global Construction – Ultimate Concrete Opportunities 2005, 9 s, [www.ukqaa.org.uk/Papers/DundeeJuly2005](http://www.ukqaa.org.uk/Papers/DundeeJuly2005)
- [23] LO, T. *Carbonation & Chloride Penetration of Concrete Structures* In: Proceedings Annual Concrete Seminar , City University of Hong Kong 2005, 12 s, [www.devb-wb.gov.hk](http://www.devb-wb.gov.hk)
- [24] MAREK, P. a kol. *Durability Analysis of a reinforced Concrete Member using probabilistic SBRA Method* In: Roczniki inżynierii budowlanej Katowice, zeszyt 7/2007, 4 s, [www.itam.cas.cz](http://www.itam.cas.cz)
- [25] MAREŠ, J. *Diagnostika degradace betonu* In: Sborník konference Výzvy pro dopravu a spoje, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera 2006, 6 s, e-mail [jiri.mares@upce.cz](mailto:jiri.mares@upce.cz)
- [26] MAREŠ, J. *Diagnostické postupy ověřující stav betonu provozovaných konstrukcí dopravních staveb* Zpráva zpracovaná pro grantovou úlohu GAČR 103/05/2066, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera 2007, 33 s, e-mail [jiri.mares@upce.cz](mailto:jiri.mares@upce.cz)

---

<sup>7)</sup> CIDEAS – Centre for Integrated Design of Advanced Structures – Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí – výzkumné sdružení firem [www.cideas.cz](http://www.cideas.cz)



## Články

- [8] BAUM,H. a kol. *Influence of Fines on Concrete Mixes* In: Proceedings of Technion – Izrael Institute of Technology, Haifa 2006, 4 s  
[www.technion.ac.il/~nbri/research\\_reports/2006/529](http://www.technion.ac.il/~nbri/research_reports/2006/529)
- [9] BUENFELD,N.R. a kol. *On-site Curing of Concrete- Microstructure and Durability* Publisher by CIRIA, Westminster London 2001, 15s,  
[www.ciria.org.uk](http://www.ciria.org.uk)
- [10] BURNOL,A. a kol. *Uncertainty in the Reactive Transport Model Response to an Alkaline Perturbation in a Clay Formation* In: Proceedings TOUGH Symposium Lawrence Berkeley National Laboratory, California, USA 2006, 7 s, [a.burnol@brgm.fr](mailto:a.burnol@brgm.fr)
- [11] ČERVENKA,V. *Computer Simulation of Failure of Concrete Structures for Practice* Publishing Červenka Consulting Praha 2002, 16 s (GAČR 103/00/1563 a 103/99/ 0755) <http://www.cervenka.cz>
- [12] FUNG,W.,K. *Durability of Concrete using Recycled Aggregates*,In: Proceedings SCCT Annual Concrete Seminar 2005, 29 s <http://bccw.cityu.edu.hk>
- [13] FRÝBA,L. *Oprava nebo stavba nového mostu*, In: Sborník 8. Mezinárodní symposium MOSTY 2003 Brno, str.207-211
- [14] GAIMSTER,R. a kol. *The Role of Concrete in Sustainable Development*, Cement & Concrete Association of New Zealand 2007, 8 s ,  
[www.cca.org.nz](http://www.cca.org.nz)
- [15] HALSALL,R. *Concrete Carbonation in Canadian Buildings*, Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa , Technical Series 93-218 2000, 4 s, [www.cmhc-schl.gc.ca](http://www.cmhc-schl.gc.ca)
- [16] HEINRICHS,J. a kol. *Numerische Berechnungen zum Einfluss der Hydrophobierung auf die Carbonatisierung von Beton* In: Proceedings COMSOL Multiphysics User's Conference Frankfurt 2005, 6 s,  
[www.comsol.se/academic/papers/1225](http://www.comsol.se/academic/papers/1225)

ČSN P EVN 206	Beton.Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení.
ČSN ISO 1920	Zkoušení betonu. Rozměry, mezní úchytky a použití zkušebních těles.
ČSN ISO 4012	Beton.Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles.
ČSN ISO 4013	Beton.Stanovení pevnosti v tahu ohybem zkušebních těles.
ČSN ISO 6275	Ztvrdlý beton. Stanovení objemové hmotnosti.
ČSN ISO 9690	Klasifikace podmínek agresivního prostředí působícího na beton a železobetonové konstrukce.
ČSN ISO 13862	Hodnocení stávajících konstrukcí
Předpis ČD SR5(S)	Určování zatížitelnosti železničních mostů
TP 72 MDČR	Diagnostický průzkum mostů PK
ČD,divize DC	Technické kvalitativní podmínky stavebČD – kapitola 17 Beton pro konstrukce
ŘSD ČR	Metodický pokyn:Zásady pro hodnocení jakosti staveb

## Knihy

- [1] BECHYNĚ, S. *Stavitelství betonové I a II*. Praha ČMT 1934, 624+654 s.
- [2] BÖHNI, H., *Corrosion in reinforced concrete structures* Cambridge WPL England 2005, 248s
- [3] HRUBAN, K., PAUL, J., *Betonové konstrukce I* Praha ČVUT 1961, 384 s
- [4] ČÍHALÍK, J., DVOŘÁK, J., SUK, V., *Příručka měření pH* Praha SNTL 1975, 241 s
- [5] JAMBOR, J. *Chemické rozbor v stavebnictve*, Bratislava, SAV 1953, 568 s.
- [6] MATOUŠEK, M., DROCHYTKA, R. *.Atmosférická koroze betonu* Praha IKAS 1998, 171s
- [7] MODRÝ, S. *Trvanlivost betonu a železobetonu*, Praha, Sekurkon 2001, 246 s

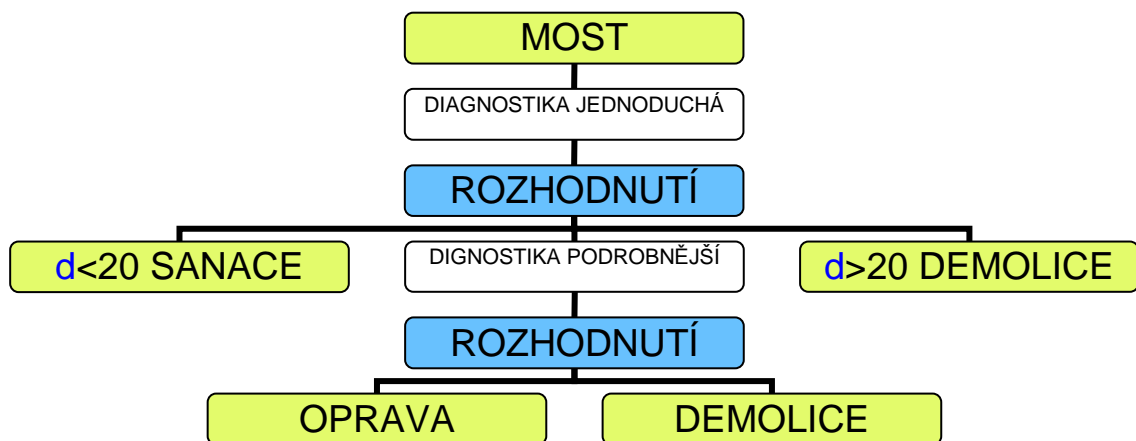
## Literatura

### Normy a předpisy

EN 1990	Zásady navrhování
EN 1991	Zatížení konstrukcí
EN 1992	Navrhování betonových konstrukcí
EN 1994	Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí
ČSN 72 0100	Základní postup rozboru silikátů
ČSN 72 0103	Základní postup rozboru silikátů. Stanovení ztráty žíháním.
ČSN 72 0113-1,3	Základní postup rozboru silikátů. Stanovení oxidu vápenatého komplexometrickou metodou.
ČSN 72 0117	Základní postup rozboru silikátů. Stanovení síranové síry.
ČSN 72 7031	Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu.
ČSN 73 1215	Betonové konstrukce. Klasifikace agresivních prostředí.
ČSN 73 1315	Stanovení objemové hmotnosti, hustoty, hutnosti a pórovitosti betonu.
ČSN 73 1316	Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlínání betonu.
ČSN 73 1318	Stanovení pevnosti betonu v tahu.
ČSN 73 1323	Chemický rozbor betonu.
ČSN 73 1370	Nedestruktivní zkoušení betonu.
ČSN 73 1371	Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu.
ČSN 73 1372	Rezonanční metoda zkoušení betonu
ČSN 73 1373	Tvrdoměrné metody zkoušení betonu.
ČSN 73 1274	Kombinovaná nedeštruktivní metoda zkoušení betonu.
ČSN 73 2011	Nedeštruktivní zkoušení betonových konstrukcí.
ČSN 73 2031	Zkoušení stavebních objektů, konstrukcí a dílců.
ČSN 73 2577	Zkouška přídržnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí k podkladu.
ČSN 73 6220	Zatížitelnost a evidence mostů pozemních komunikací
ČSN 73 6221	Prohlídky mostů pozemních komunikací
ČSN EN 196-1	Metody zkoušení cementu.



naznačuje, že ke vzniku nebezpečné situace, kdy hloubka degradace dosáhla tloušťku krytí výztuže, došlo již v minulosti, orientačním výpočtem již v roce 1963. Predikce zbytkové životnosti mostu bude přicházet v úvahu pouze tehdy, kdy zjištěná hloubka karbonatce nedosáhne k výztuži. Obdobným způsobem jako v předcházejícím případě bude možné určit časový úsek ode dne měření do okamžiku, kdy degradace k výztuži dosáhne. Podle vypočteného data potom bude možné v rámci diagnostiky předepsat nejzazší možný termín sanace, případně jiná opatření a prohlídky v následujícím časovém období.



Obr.61 Rozhodovací schéma

Pro užití této metody by bylo vhodné při následujících aplikacích přijmout určitá sjednocující opatření, např.:

- Provádět alespoň 5 vrtů  $\varnothing$  18 mm
- Odebírat prach z 8 vrstev tl. 10 mm
- Provádět výluh množství 1 cm<sup>3</sup>
- Užít pro výluh 2 cm<sup>3</sup> destilované vody
- Metodu užívat zejména pro mosty rozpětí do 10 m a stáří více než 40 roků.

#### 4.2 Cíl práce 2

Po projednání se SÚS Pardubice byla navržená metoda experimentálně ověřena na mostu 34039-2 přes mlýnský náhon v Mněticích. Přístup k odběrným místům byl zajištěn z lodi ukotvené pod mostem, což byl nejobtížnější úsek postupu. Dne 29.7.2008 bylo odebráno do plastických zkumavek celkem 24 vzorků prachu ze tří vrtů. Tato činnost trvala dvěma pracovníkům necelé 2 hodiny. Po provedení výluhu a ustálení bylo provedeno měření pH a následné vyhodnocení. Získané výsledky byly plně v souladu se závěry předchozího diagnostického průzkumu.

Experimentální ověření navržené metody na reálné betonové konstrukci z roku 1937 potvrdilo, že jsou předpoklady pro začlenění navržené metody do diagnostické praxe v oboru betonových konstrukcí.

#### 4.3 Cíl práce 3

Závislosti potřebné pro predikci zbytkové životnosti starší betonové konstrukce jsou v práci uvedeny. U vyšetřované konstrukce však bylo zjištěno, že hloubka degradace již přesáhla hodnotu krytí výztuže, což

Za předpokladu monotónních funkcí  $c$  a  $d(t)$  a parametrů jejich rozdělení je pravděpodobnost  $p_f(t)$  také monotónní a lze k ní definovat inverzní funkci, na základě které je možno životnost  $T$  zapsat explicitně ve tvaru :

$$T = p_f^{-1}(p_0)$$

Životnost konstrukce je tedy vázána na pravděpodobnost  $p_0$ , že sledovaná funkční vlastnost konstrukce nebude splněna. Při překročení takto stanovené životnosti překročí také pravděpodobnost poruchy hodnotu  $p_0$ .

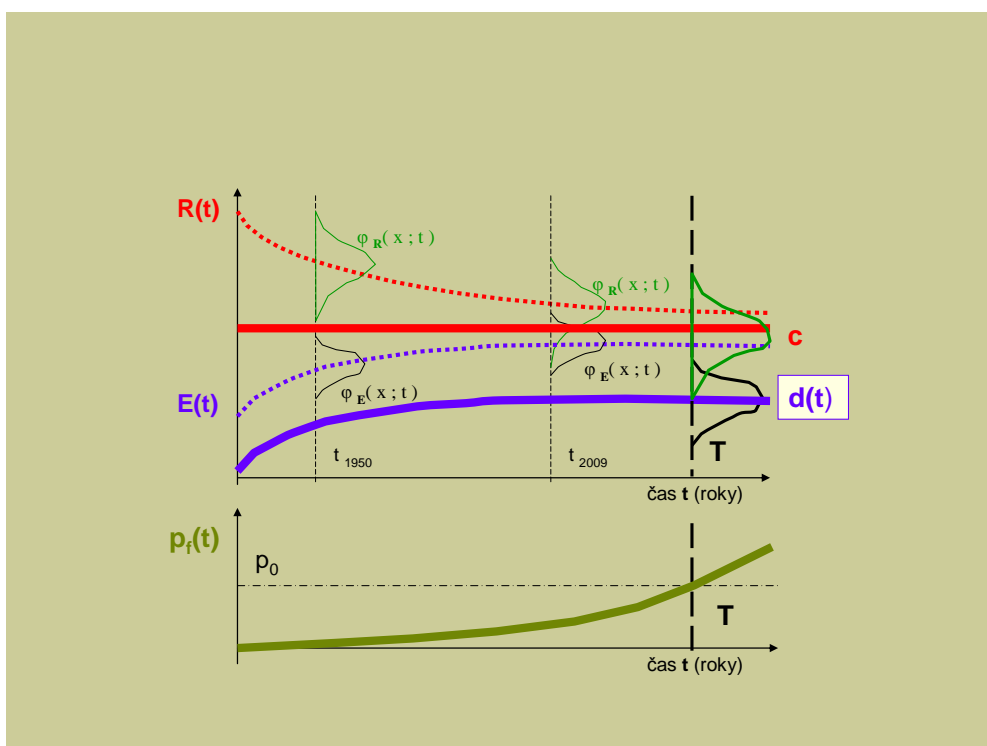
## 4 Výsledky

### 4.1 Cíl práce 1.

V rámci disertační práce byla navržena diagnostická metoda, pomocí které lze zjistit průběh změny hodnoty pH jednotlivých vrstev betonové konstrukce. Postup předpokládá odběr vzorků prachu vznikajícího při vrtání příklepovou vrtačkou ( $\varnothing$  18 mm) po jednotlivých vrstvách (tl.10 mm) pomocí vysavače, následné provedení výluhu tohoto prachu v destilované vodě a jeho změření pH elektrometrickou metodou. Na základě takto změřených hodnot lze vynést průběh změny pH v závislosti na hloubce a interpolací lze určit hloubku, do které je beton degradován. Aplikace navrhované metody vyžaduje pouze zajištění přístupu k místu odběru vzorků pro pracovníky a jejich vybavení akumulátorovou vrtačkou a akumulátorovým vysavačem, pro následné měření pH je zapotřebí vybavení digitálním pH-metrem. Pro most rozpětí do 10 m by byl postačující odběr vzorků z 5 – 10 vrtů, což představuje práci cca 6 hodin dvou pracovníků. Lze odhadnout, že cena diagnostiky by nepřekročila 10 tis. Kč.

Pokud se této metody použije v prvním diagnostickém kroku, je možné této metody využít k rozhodnutí o dalších krocích před provedením časově i finančně náročné komplexní diagnostiky mostní konstrukce dle následujícího schématu:





Obr.60 Průběhy funkcí  $s$  a  $d(t)$  a znázornění funkce času zbývajícího do poruchy

Časově závislá rozdělení pravděpodobnosti jsou potom závislá na parametrech  $\mu$  (střední hodnota),  $\sigma$  (směrodatná odchylka) a  $\alpha$  (šikmost), které jsou obecně funkcemi času  $t$ . Opakovanou realizací podmínek (provedených zkoušek) se získá náhodný výběr o určitém rozsahu. Na spodním grafu můžeme potom určit pravděpodobnost poruchy v čase  $T$ , nebo opačně pro předem stanovenou pravděpodobnost  $p_0$  určit zbytkovou životnost konstrukce

Predikce životnosti pro zadanou pravděpodobnost:

Časově závislou pravděpodobnost poruchy  $p_f(t)$  je možno zapsat ve tvaru :

$$p_f(t) = P[c \geq d(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_c(c) \varphi_d(K;t) dx$$

Životnost konstrukce lze nyní definovat jako čas, ve kterém je podmínka  $c > d(t)$  narušena pouze s danou pravděpodobností  $p_0$  (např. 0,05), tj. čas, pro který platí:

$$p_f(T) = p_0$$

Možnosti užití výsledků pro predikci vývoje:

V případě mostu v Mněticích čas vzniku poruchy nastal v minulosti, v okamžiku, kdy nastala skutečnost, že  $d(t) = c$ .

Užitím rovnice

$$d = K\sqrt{t}$$

(pro vrt A je  $d = 0,032\ 528\ \text{m}$  a  $t = 71$  roků), lze vypočítat, že

$$K = 0,003861$$

Orientačně pro hodnoty z vrtu A lze následně určit, že čas poruchy [ kdy  $d(t_{\text{failure}}) = 0,02\ \text{m}$ ] nastal v čase  $t_{\text{failure}} = 26,83$  roků, tj. v r. **1963**

V případech, kdy bude zjištěno, že  $d(t) < c$ , bude výstižnější užití interferenční inženýrské metody pravděpodobnostní analýzy:

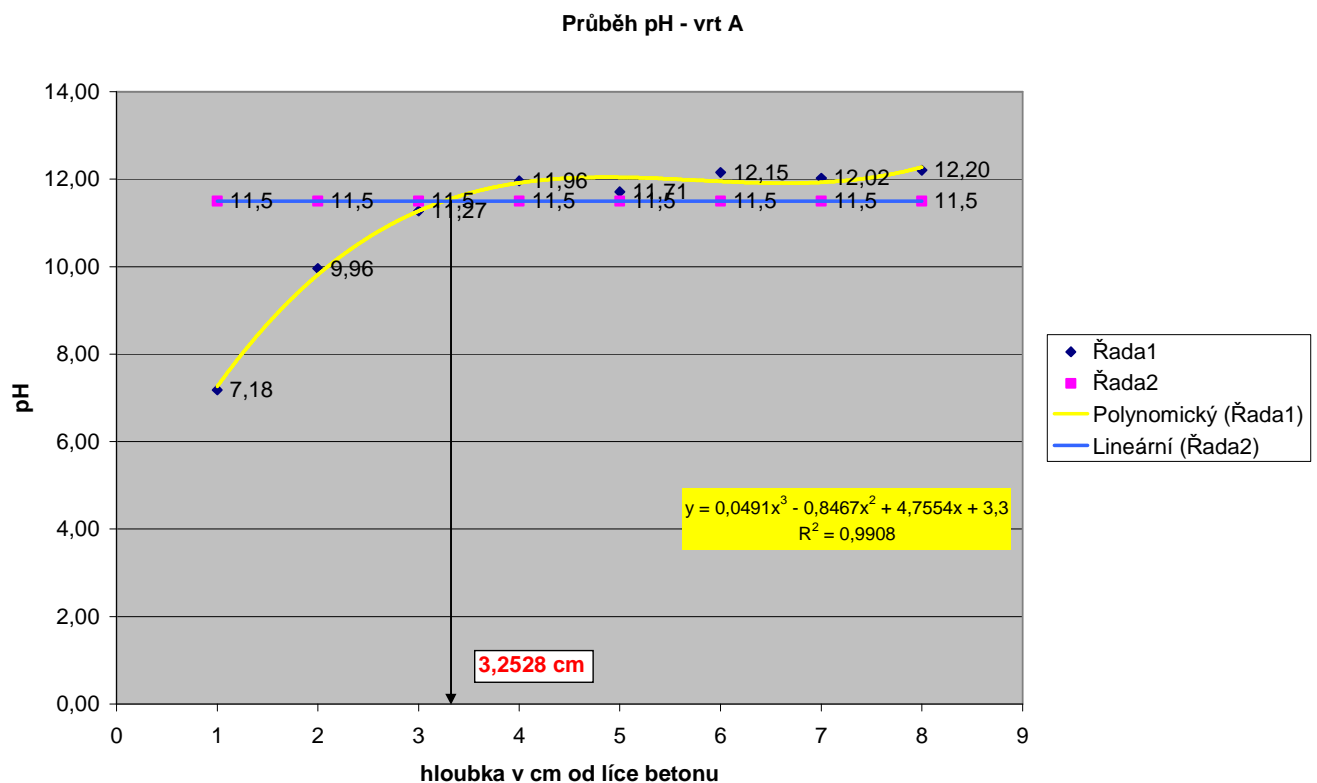
**E** je časově závislá náhodná funkce, vyjadřující odezvu zatížení, **R** je časově závislá náhodná funkce, vyjadřující odolnost konstrukce. Obě mají své hustoty pravděpodobnosti  $\varphi$  (v závorce **x** značí příslušnou veličinu, např. rozměry, mez kluzu, zatížení, **t** potom čas) a distribuční funkce  $\Phi$ .

Pro případ zjišťování životnosti degradované konstrukce za funkci odolnosti konstrukce dosadíme  $c$  – hodnotu krytí výztuže, za funkci odezvy zatížení dosadíme hodnotu  $d(t)$  – hodnotu postupující hloubky degradace betonu.

Dosáhne-li hloubka degradace hodnotu rovnou krytí výztuže při určité pravděpodobnosti, dojde v tomto čase  $T$  k poruše konstrukce. Náhodné veličiny  $d(t)$  a  $c$  lze popsat funkcemi hustoty pravděpodobnosti  $\varphi_d(K;t)$  a  $\varphi_c(c)$  a dále distribučními funkcemi  $\Phi_d(K;t)$  a  $\Phi_c(c)$ , které jsou funkcemi jednak sledovaných náhodných veličin  $c$  a  $K$ , jednak nenáhodného času  $t$ . Schématicky jsou průběhy těchto funkcí vyznačeny na obr.60.:

Uvedené výsledky jsou v dobré shodě se závěry diagnostického průzkumu zpracovaného doc. Tomkem a prohlídky mostu z 18.11.2002 provedené Ing. Tomášem Míčkou (PONTEX s.r.o. Praha): Nosná konstrukce je již v takovém stavu, kdy její oprava již není z technických důvodů možná. Nosnou konstrukci lze nechat při dobré údržbě a stálé kontrole dožít. Je však nezbytné zajistit omezení dopravy z hlediska zatžitelnosti.

Naměřené hodnoty pH v jednotlivých vrstvách mají určitý trend, který nahradíme polynomem 3.řádu a kubickou interpolací pro  $\text{pH} = 11,5$  představující bezpečně nedegradovaný beton zjistíme hloubku degradace betonu v daném vrtu:



Obr.59 Určení hloubky karbonatce

Takto byly určeny hloubky karbonatce pro provedené vrty

A: 32,53 mm  
C: 26,09 mm  
E: 38,52 mm

Výpočet byl proveden pomocí programu EXCEL. (viz příloha)



Posléze byl do jednotlivých výluhů přidán 1 % roztok fenolftaleinu a bylo porovnáno zbarvení, které plně korespondovalo s naměřenými hodnotami.



Obr.57 Zbarvení výluhů fenolftaleinem

### 3.9 Výsledky měření

Výsledky měření ukazují, že hloubka degradované vrstvy je určitě více než 20 mm pod povrchem betonu a je tudíž nutné předpokládat, že výztuž bude zasažena korozí. Oprava takto poškozené konstrukce by vyžadovala reprofilaci výztuže, což je technicky velmi náročná a nákladná operace. Tento stav dokumentuje i následující obrázek odloupnuté krycí vrstvy výztuže:

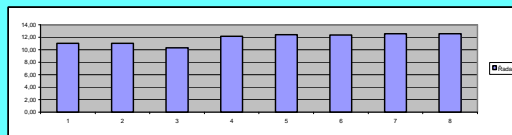
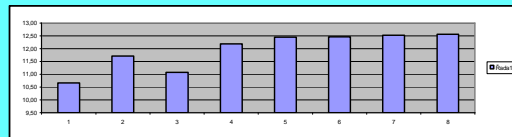
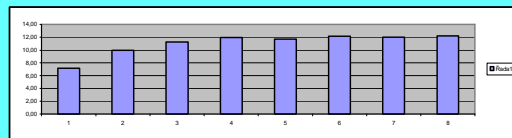


Obr.58 Odloupnutá vrstva výztuže na trámu zespoda mostu

Po ustálení bylo dne 30.7.2008 provedeno elektrochemické měření pH všech vzorků, při kontrole fosfátovým pufrům byla však zjištěna odchylka od stanovené hodnoty etalonu 0,46 pH, což byla hodnota nepřijatelná a měření muselo být opakováno po novém kalibrování pH – metru. To bylo možné uskutečnit až 13.8.2008. Hodnoty z tohoto měření jsou uvedeny v následující tabulce:

### Výsledky měření pH jednotlivých vrstev:

A	1	7,18	C	1	10,66	E	1	11,02
	2	9,96		2	11,71		2	10,99
	3	11,27		3	11,08		3	10,31
	4	11,96		4	12,19		4	12,17
	5	11,71		5	12,45		5	12,42
	6	12,15		6	12,47		6	12,35
	7	12,02		7	12,53		7	12,54
	8	12,20		8	12,56		8	12,53

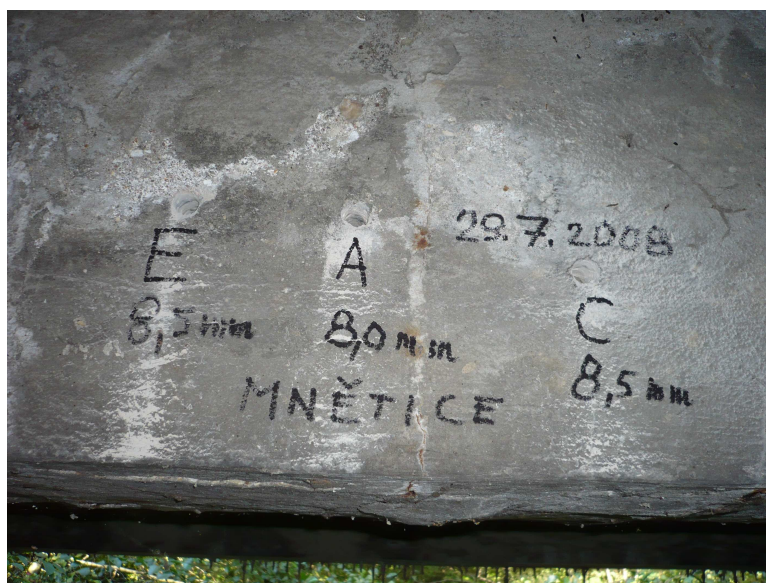


RSD Pardubice 2008

Obr.56 Souhrn výsledků získaných na vzorcích A,C,E

U všech tří vrtů je patrný nárůst pH od povrchu směrem do hloubky. Příčina odchylky od hladkého průběhu (vzorek C – vrstva 2) může být způsobena s největší pravděpodobností tím, že v této vrstvě byl rozhodující podíl prachu získán vrtáním kamenné vložky, kdežto cementový tmel byl zastoupen v této části vrtu v menšině.

Provedené umístění vrtů A,E,C a jejich hloubka je na obrázku :



Obr.54 Tři zvolená místa odběrů vzorku A,E,C na trámu mostu v Mněticích

Při odběru byl použit stejný způsob jako při ověřovacím pokusu, odvrтанý prach jednotlivých vrstev byl postupně ukládán do plastických zkumavek užívaných při odběru biologických vzorků. Ještě ten den večer byl prach jednotlivých vzorků upraven na objem shodný pro všechny vzorky ( 1 cm<sup>3</sup> ), smíšen se stejným množstvím destilované vody ( 4 cm<sup>3</sup> ) a třesením rozmíchán.



Obr.55 Zkumavky vrtu A

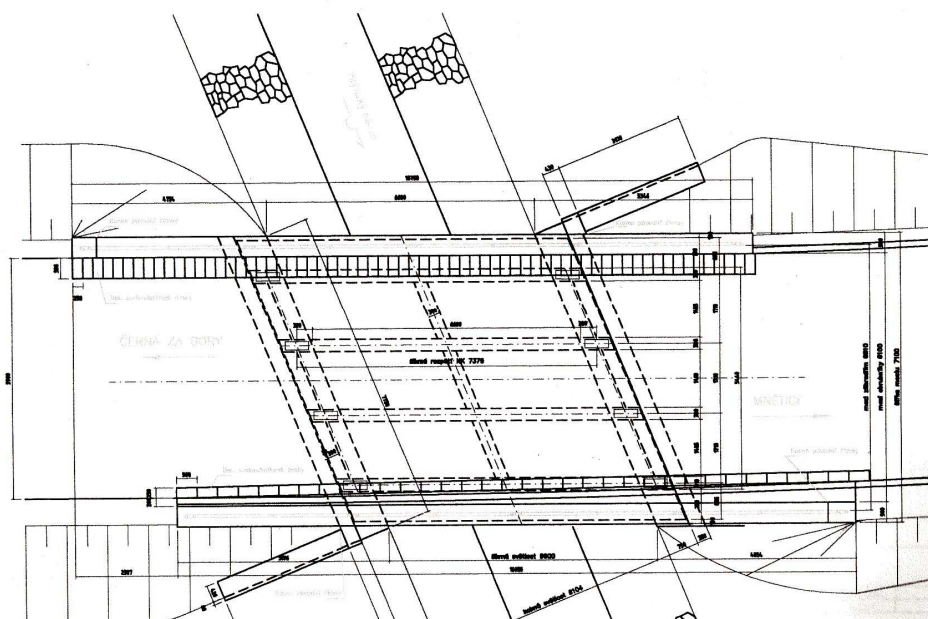




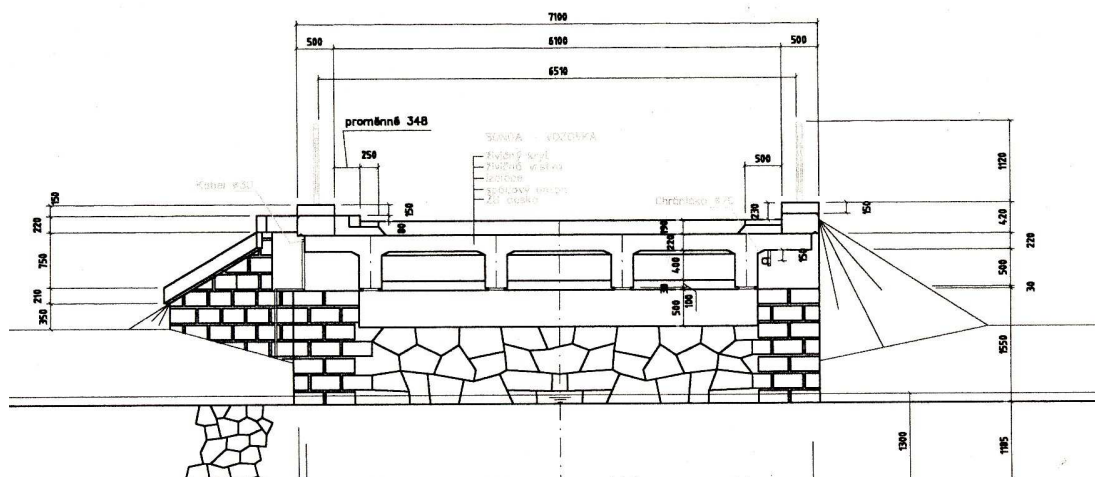
Obr.53 Pohled zespoda na most v Mněticích se zřetelnými znaky degradace

### 3.8 Odběr nových vzorků a měření pH

Místo odběru vzorků bylo zvoleno na vnitřní straně druhého návodního trámu mostu, v místech, kde byly zřetelné bílé výkvěty jako známka degradace, a výškově umístěné poblíž neutrálné osy průřezu. Pro přístup k provedení odběrů vzorku byla jako nejvhodnější zvolena dvěma lany ukotvená loď. Odběr byl předpokládán v 3 - 5 vrtech, v každém bylo uvažováno s odběrem vzorků alespoň v osmi vrstvách od povrchu směrem dovnitř po tloušťkách 10 mm. Dne 29.7.2008 v odpoledních hodinách byl proveden odběr vzorků z tří vrtů, více vzorků překračovalo kapacitní možnosti akumulátorů vrtačky a vysavače.



Obr.51 Půdorys mostu v Mněticích



Obr.52 Příčný řez mostu v Mněticích

a Mnětice 340039-2 – trémový most přes mlýnský náhon Chrudimky o rozpětí 7,40m postavený v roce 1937). Z nich byl posléze vybrán mostní objekt v obci Mnětice, pro jehož volbu přispěla zejména okolnost, že pro tuto stavbu byla v roce 2003 zpracována poměrně obsáhlá podrobná diagnostika včetně výpočtu zatížitelnosti mostu firmou DIVYP Brno s.r.o. pod vedením doc.Ing.Tomka, CSc.



Obr.50 Most 34039-2 Mnětice – pohled proti proudu



Získaný průběh změny pH potom dobře koresponduje s fenolftaleinovým testem, který byl posléze proveden po rozlomení na vnitřku vývrtnu.



Obr.49 Fenolftaleinový test na rozlomeném vývrtnu

### 3.6 Patentové nároky

Uvedený způsob zjišťování degradace betonu a zařízení k provádění tohoto způsobu může nalézt uplatnění především v oblastech provozování a údržby všech fondů, jejichž materiálem je beton, který po část doby své existence mohl být vystaven působení atmosférických vlivů ovzduší, kdy na základě průzkumu má být rozhodováno o způsobu opravy. Před další publikací v odborném tisku byl proto uvedený způsob dne 6.6.2008 přihlášen u Úřadu průmyslového vlastnictví Praha pod č. 2008-349 jako vynález (viz příloha).

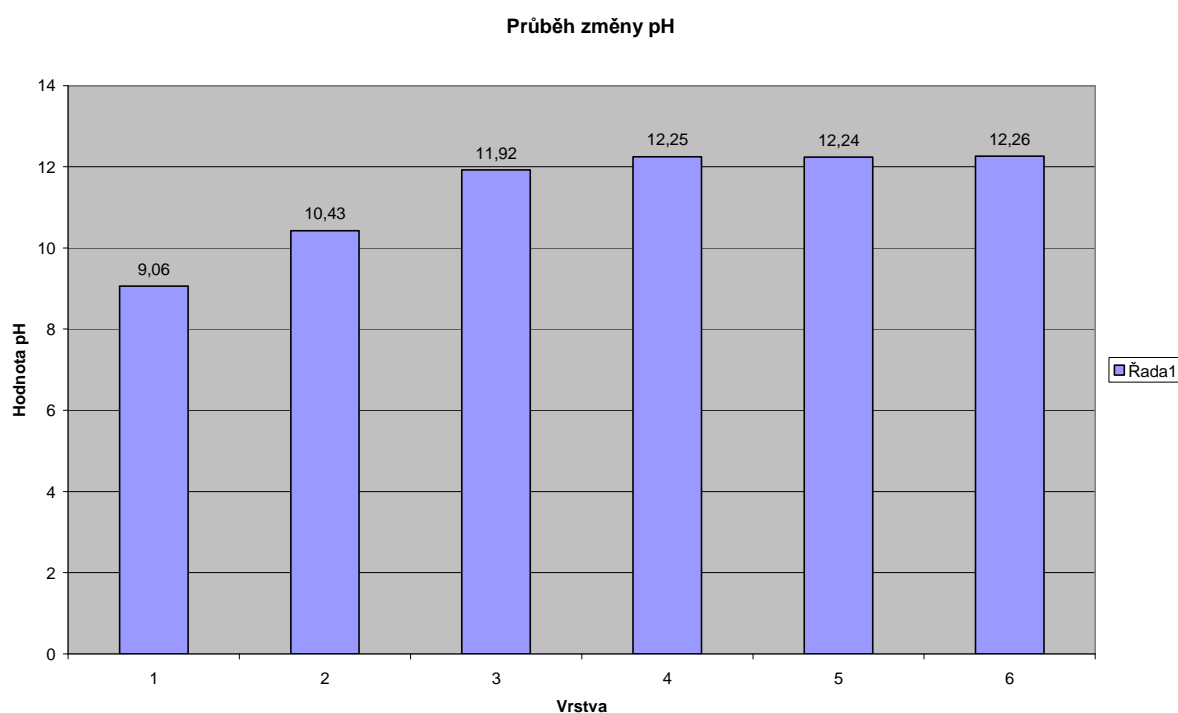
### 3.7 Výběr nového objektu pro praktické ověření

V Týništku již oba nové mosty byly mezitím uvedeny do provozu a v působnosti ŘSD Pardubice nebyl na dálnicích a komunikacích I. třídy nalezen žádný další vhodný objekt. Možnost ověření této metody byla proto hledána na některém z betonových mostů menších rozpětí na silničních komunikacích II. a III. třídy ve správě SÚS Pardubice. Po dohodě s mostmistrovou pí Cablkovou byly prověřeny 4 mostní objekty (Kunětice 2984-2 – deskový most přes inundační území Labe o rozpětí 8m z roku 1951, Černá u Bohdanče 32225-2 – trémový most přes Černskou strouhu o rozpětí 7m z roku 1932, Bohumileč 29820-1 – deskový most přes Bohumilečský potok o rozpětí 4,10 m z roku 1952,

Vrtání bylo provedeno v těchto záběrech :

Vrstva 1	0 – 10 mm
Vrstva 2	10 – 20 mm
Vrstva 3	20 – 30 mm
Vrstva 4	30 – 40 mm
Vrstva 5	40 – 50 mm
Vrstva 6	50 – 60 mm

Získaný prach jednotlivých vrstev byl poté vyluhován třesením v skleněných uzavřených nádobkách po smísení s 25 ml destilované vody a po více než 4 hodinách ustálení bylo provedeno změření pH. Pro měření elektrometrickou metodou byl užit digitální pH-metr WHV PM 210/23. Naměřené hodnoty pH jednotlivých vrstev byly potom vyneseny do grafu, který dokumentuje změnu pH směrem od povrchu betonu a naznačuje, do jaké hloubky degradace postoupila a v jaké hloubce již beton není degradací zasažen.



Obr.48 Naměřené hodnoty pH pro jednotlivé vrstvy

Z uvedeného grafu je zřejmé, že degradací jsou zasaženy přinejmenším dvě vrstvy, tzn. že hloubka degradace je přinejmenším 20 mm.



Obr.46 Vrtání zkušebního vývrtnu



Obr.47 Odsávání vyvrtaného prachu pomocí ručního vysavače



### 3.5 Ověřovací pokus

Jako vzorek diagnostikovaného betonu byla zvolena část nájezdu na chodník, prokazatelně betonovaná před 18 roky. Za dobu existence byla vystavena působení všech vlivů ovzduší za přirozeného střídání vlhkosti a teploty, bez expozice jiných negativních vlivů, např. chloridů. Fenolftaleinovým testem na povrchu betonu byla prokázána existence příznaků degradace.

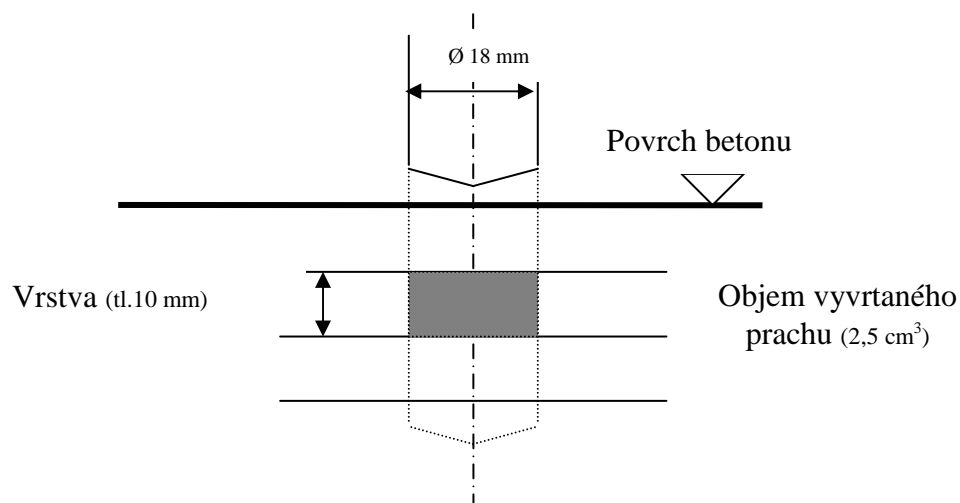


Obr.45 Vzorek betonu pro ověřovací pokus

Příklepovou vrtačkou s vrtákem do betonu  $\varnothing$  18 mm, na kterou bylo upevněné dorazové pravítko umožňující vrtání rozfázovat po 10 mm záběrech, bylo prováděno odvrtání jednotlivých vrstev za současného odsávání zplodin vrtání - prachu z betonu - pomocí ručního vysavače.

### 3.4 Korekce dalšího postupu

Bylo přistoupeno k přípravě ověřovacího pokusu, zda by pro přípravu výluhu z jednotlivých vrstev nepostačilo množství prachu získaného odběrem při vrtání příklepovou vrtačkou. Tím by odpadla potřeba jádrových vývrtů.

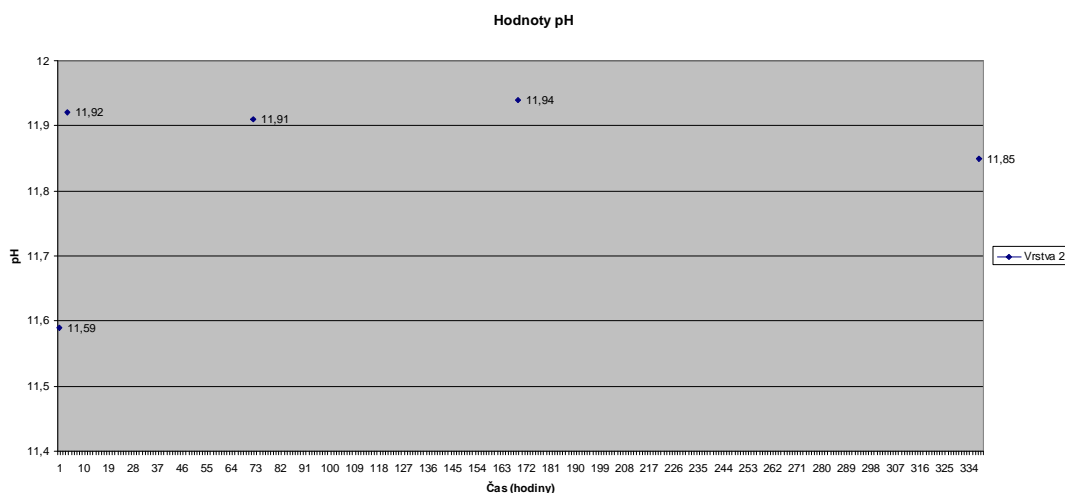


Obr.43 Předpokládané schéma vrtu



Obr.44 Předpokládané provedení pomocí příklepové vrtačky

Z následujícího časového průběhu změn je zřejmé, že hodnota pH výluhu se ustálí určitě již po pěti hodinách po vyluhování a dále se prakticky nemění. Rovněž proměna pH v závislosti na nepatrných změnách teploty vzorků je prakticky nevýznamná.



Obr.42 Proměna pH výluhu v závislosti na čase

Všechny naměřené hodnoty pH u všech vzorků byly v rozpětí hodnot 11,26 – 12,10 , což vypovídá o skutečnosti, že odebraný vzorek nebyl degradací narušen.

### 3.3.4 Závěr první části experimentu

Užití Schmidtova kladívka pro zjištění změny vlastností betonu směrem do hloubky vzhledem k značnému rozptylu měřených hodnot není vhodné, navíc provedení je podmíněno odběrem jádrových vývrtů, což je nejkomplikovanější a nejnákladnější část nutného pracovního postupu. Daleko přístupnější se jeví metoda elektrochemického měření hodnoty pH výluhu po jednotlivých vrstvách konstrukce.

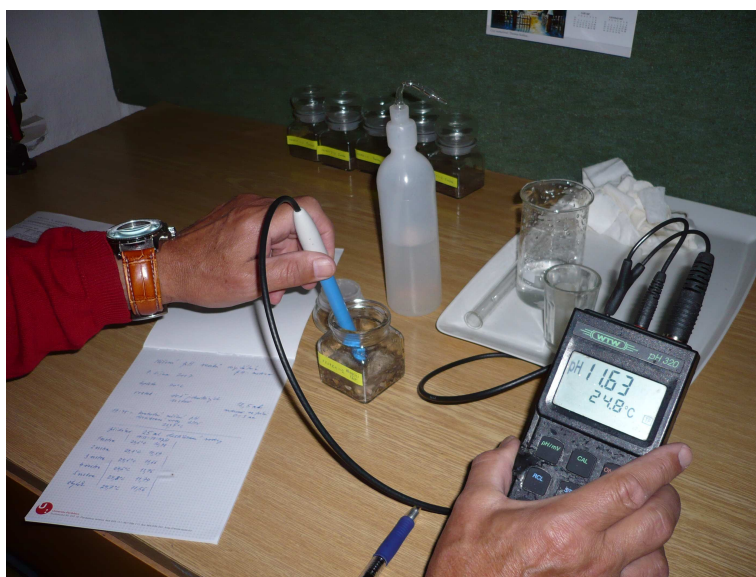




Obr.40 Výluh všech šesti vzorků

Dne 7.10.2007 bylo neprodleně po rozmíchání provedeno pomocí mikroprocesorového digitálního pH – metru WTW měření hodnoty pH všech výluhů.

Jelikož nebylo zřejmé, po jakém čase se naměřené hodnoty ustálí, bylo měření opakováno po 3, 71, 168 a 337 hodinách. Před měřením byl pH metr kalibrován s užitím fosfátového pufru, přesnost měření je  $\pm 0,01$  naměřených hodnot.



Obr.41 Měření hodnoty pH digitálním pH-metrem

### 3.3.3.2 Elektrochemické měření

Elektrochemickým měřením lze určit číselně hodnotu pH. Oproti zbarvení vzorku se tím získá lépe vypovídající hodnota. Pro pořízení výluhu z daného vzorku není žádný kvantitativní předpis, byl užit způsob obdobný při měření kyselosti půd dle Jambora [5].

Z části vzorku byla pořízena drť frakce 0 – 3 mm a ta v množství 12,5 ml byla rozmíchána v 25 ml destilované vody.



Obr.39 Drť získaná odděleně ze všech pěti vzorků a zbytku tělesa

### 3.3 Vyhodnocení poznatků první části experimentu

#### 3.3.1 Užití Schmidtova kladívka

Schmidtovo kladívko dává při postupu dle ČSN 73 1373 s vyloučením hodnot, které jsou rozdílné od střední hodnoty o více než 20 %, výsledky odpovídající válcové pevnosti betonu zjištěné rozdrčením na lisu a pro rychlé ověření pevnosti betonu neznámé konstrukce má své místo. Vzhledem k značnému rozdílu naměřených výsledků v každé vrstvě je užití Schmidtova kladívka je v zamýšleném experimentu problematické a bylo od něj upuštěno.

#### 3.3.2 Zpevnění povrchové vrstvy

Zlepšení mechanických vlastností provází první etapu karbonatce, kdy  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se v mezizrnném prostoru přeměňuje na nerozpustný  $\text{CaCO}_3$ , který zaplňuje póry. V určitých případech může dojít v tomto stadiu k uzavření pórovité struktury, postačující k zastavení karbonatačního postupu.

#### 3.3.3 Doplnění experimentu měřením pH

Pro upřesnění názoru na průběh karbonatce na získaných vzorcích bylo přistoupeno k zjištění pH v jednotlivých vrstvách.

##### 3.3.3.1 Fenolftaleinový test

Dne 5.10.2007 byl na pěti vzorcích v místech označených kroužkem pomocí pipety nanesen 1 % roztok fenolftaleinu v alkoholu. Nezbarvil se pouze první vzorek představující povrchovou vrstvu, na zbývajících vzorcích se objevilo charakteristické fialové zbarvení.



Obr.38 Fenolftaleinový test vzorků odřezaných z jádrového vývrtu

Porušení alkalického prostředí proběhlo pouze v povrchové vrstvě, v hloubce 5 mm pod povrchem byl beton již neporušený.



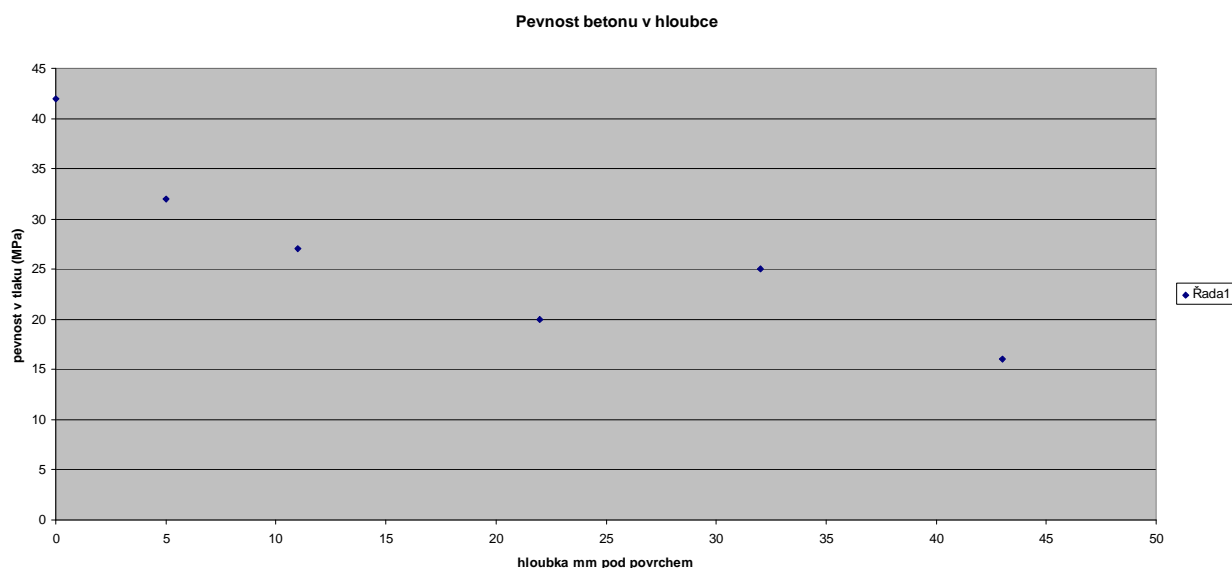
Zjištěné výsledky jsou v následující tabulce:

VZOREK	TÍHA KG/M <sup>3</sup>	VLHKOST %	PEVNOST NA LISU	KRYCHELNÁ PEVNOST
I-1	2110	6,2		
I-2	2180	4,0	29,1	34,9
I-3	2200	7,7		

Tab.5 Hodnoty naměřené na vzorcích v laboratoři ( viz též příloha)

Žlutou barvou je zde vyznačen vzorek I-2, u kterého byla zjištěna válcová pevnost měřením na lisu 29,1 MPa a u kterého byla zároveň měřena pevnost v jednotlivých vrstvách pomocí Schmidtova kladívka. V jednotlivých vrstvách tomu odpovídají hodnoty vypočtené v tab.4., tj. pro jednotlivé vrstvy 42 – 32 – 27 – 25 – 20 – 25 MPa. Průměrná hodnota 28,5 MPa je srovnatelná s hodnotou 29,1 MPa, zjištěnou rozdrčením na lisu. Krychelná pevnost se získá potom přepočtem.

Pevnost betonu zjištěná měřením Schmidtovým kladívkem ve vrstvách je znázorněna v následujícím grafu :



Obr.37 Pevnost betonu v závislosti na hloubce pod povrchem

Z uvedeného grafu je patrné, že pevnost betonu v povrchových vrstvách je vyšší, než je průměrná pevnost vzorku, zjištěná jak pomocí Schmidtova kladívka, tak i zkouškou na lisu.

Výpočet je proveden v tabulce:

vrs.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Sigma$	$\bar{\sigma}$	20%	dl.mez	hr.mez	$R_{be}$	$\alpha_t$	$\alpha_w$	$R_b$	$R_b$	$\bar{\sigma}$ z 20	$R_{be}$	$R_b$	
1	45	44	43	41	42	45	44	36	40	380	42,22	8,44	33,78	50,67	46,4	0,9	1,0	41,76	42	40,55	41,50	37	
2	30	46	32	38	34	39	42	30	43	334	37,11	7,42	29,69	44,53	35,2	0,9	1,0	31,68	32	35,80	32,80	30	
3	34	30	25	37	32	40	36	25	40	299	33,22	6,64	26,58	39,87									
4	29	32	21	28	35	32	25	27	29	258	28,67	5,73	22,93	34,40									
5	36	30	42	35	41	30	28	27	35	304	33,78	6,76	27,02	40,53									
zbyt.	30	24	31	27	26	22	27	22	25	234	26,00	5,20	20,80	31,20	18,0	0,9	1,0	16,2	16	28,95	22,00	20	
spod.	24	28	26	25	21	29	29	26	28	236	26,22	5,24	20,98	31,47	18,2	0,9	1,0	16,38	16	26,46	18,50	17	
opr:																							
3	34	30		37	32		36			169	33,80				29,6	0,9	1,0	26,64	27	34,10	30,10	27	
4	29	32		28		32	25	27	29	202	28,86				21,8	0,9	1,0	19,62	20	28,85	21,95	20	
5	36	30		35		30	28		35	194	32,33				27,3	0,9	1,0	24,57	25	31,65	26,20	24	

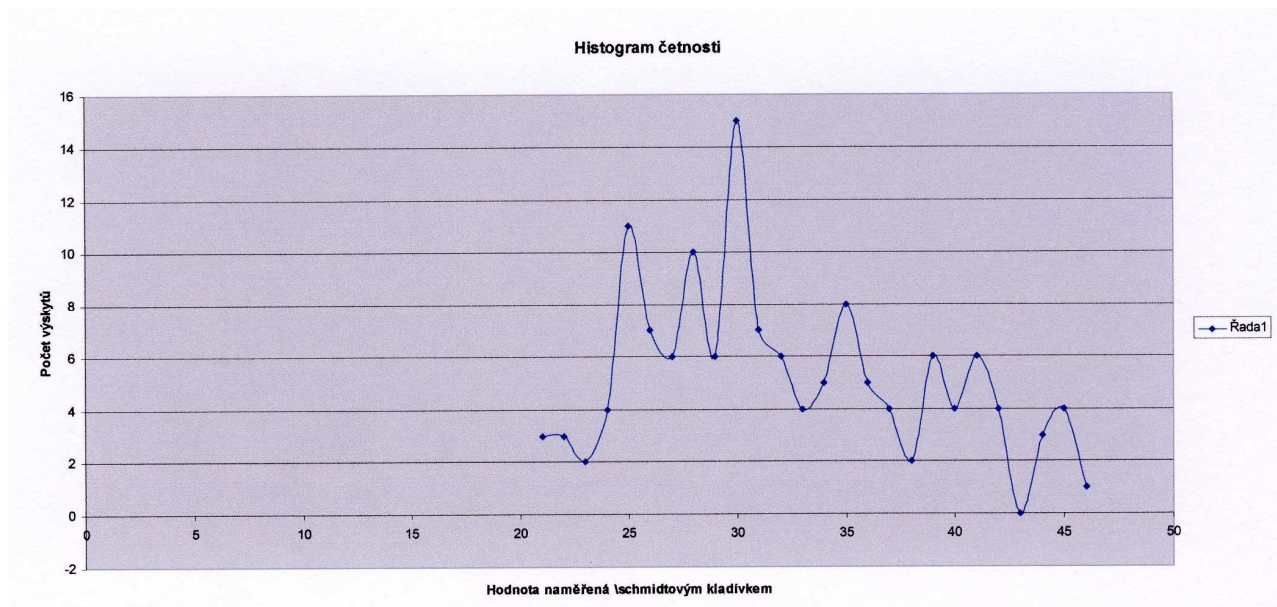
Tab.4 Výpočet  $R_b$  při měření Schmidtovým kladívkem N16 dle ČSN 73 1373

Pro přepočet naměřených hodnot na pevnost betonu byla užitá hodnota vlhkosti vzorku, získaná gravimetrickou metodou. Současně byla zjištěna vážením objemová váha vzorků a u zbytku vzorku I-2 byla provedena zkouška zjištění válcové pevnosti betonu rozdrčením na lisu.



Obr.36 Válcová zkouška pevnosti pro zbytek vzorku I-2

Uvedený značný rozptyl hodnot potvrzuje následující histogram četnosti vynesení pro získané hodnoty:



Obr.35 Histogram četnosti hodnot naměřených Schmidovým kladívkem

Výpočet pevnosti betonu v tlaku dle ČSN 73 1373 potom z naměřených devíti hodnot vylučuje ty které od střední hodnoty jsou rozdílné o víc než 20%, upravuje je pomocí obecných kalibračních vztahů v závislosti na poloze kladívka, redukuje je podle vlhkosti vzorku a takto potom stanoví pevnost vzorku betonu v tlaku.



Po každém odříznutí byla neprodleně na zbývající části vývrtu měřena pevnost pomocí Schmidtova kladívka. Důležitá okolnost je nehybné upevnění vzorku. Při upínání vzorku do lisu došlo k prasknutí vzorku I-1, druhý vzorek byl poté pouze opřen o masivní základ stroje a přidržován. Na každé vrstvě bylo provedeno 20 měření, celkem bylo získáno 140 hodnot. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány na protokolech (v příloze).



Obr.34 Měření Schmidtovým kladívkem N16

Užití této metody je velmi jednoduché, získané hodnoty mají ale velký rozptyl, ze 140 získaných hodnot nejnižší byla 21 a nejvyšší 46 – viz tabulka:

vrstva	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	45	44	43	41	42	45	44	36	40	39	37	42	31	37	41	39	40	41	43	41
-5	30	46	32	38	34	39	42	30	43	36	33	35	34	41	44	37	32	33	28	29
-11	34	30	25	37	32	40	36	25	40	39	31	29	30	30	45	35	30	39	30	45
-24	29	32	21	28	35	32	25	27	29	31	25	34	35	25	28	22	30	32	31	26
-34	36	30	42	35	41	30	28	27	35	30	26	24	36	34	30	38	30	28	28	25
-45	30	24	31	27	26	22	27	22	25	35	35	33	24	33	28	27	43	39	25	23
-196 mm	24	28	26	25	21	29	29	26	28	27	31	31	21	23	26	28	30	26	25	25

Tab.3 Hodnoty získané měřením Schmidtovým kladívkem N 16

Nejprve byl odvrtán třetí vzorek I-3.



Obr.32 Provádění jádrového vývrtu z odebraného dílu demolovaného mostu

Těleso pro zkoušky pevnosti v tlaku betonu bylo potom upravováno řezáním na stolní pile s diamantovým kotoučem. Postupně byly u vzorku I-2 odříznuty vrstvy tloušťky 5 mm, 6 mm, 13 mm, 10 mm a 11 mm.



Obr.33 Řezání vrstev na diamantové pile

mostovky obou mostů demolovány. Rubanina byla z částí ponechána na místě jako materiál použitelný pro násypové konstrukce, zbytek byl rozdrčen a užit jako recyklát. Po dohodě se stavbyvedoucím p. Mazurou bylo možné z demolovaných konstrukcí ponechaných na místě odebrat vzorky, s pomocí mistra p. Dolečka byly vybrány z rubaniny části římsy mostu, na kterých byla dne 28.8.2008 označena místa jádrových vývrtů.

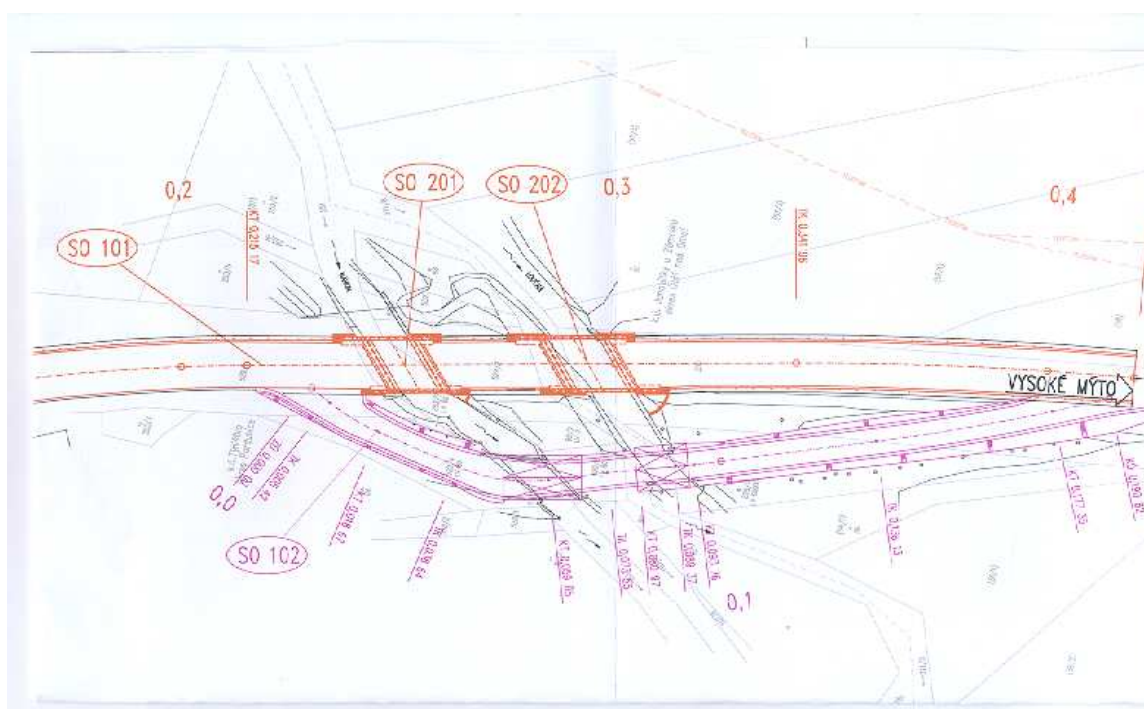


Obr.31 Část římsy s označením místa vývrtu

Dne 4.9.2007 pracovníci ÚSZ na místě odvrtali jádrové vrty I-1 a I-2 a spolu s třetím vzorkem části římsy je odvezli na pracoviště v Trnové, kde dne 25.9.2007 byla provedena zbývající část experimentu.



oblouku komunikace došlo k navýšení konstrukční výšky mostu až o 0,5 m, což vedlo k snížení zatížitelnosti. Oba mosty byly již jediným omezením v nadměrné přepravě na této silnici. Jelikož původně uvažovaná sanace obou mostů by nezajistila zatížitelnost pro třídu A, bylo rozhodnuto desky mostovek demolovat a nahradit je novými, které budou splňovat jak prostorové, tak i zátěžové parametry. Dodatečně provedený průzkum potvrdil možnost ponechání spodní stavby v původním stavu pouze s úpravou úložného prahu.

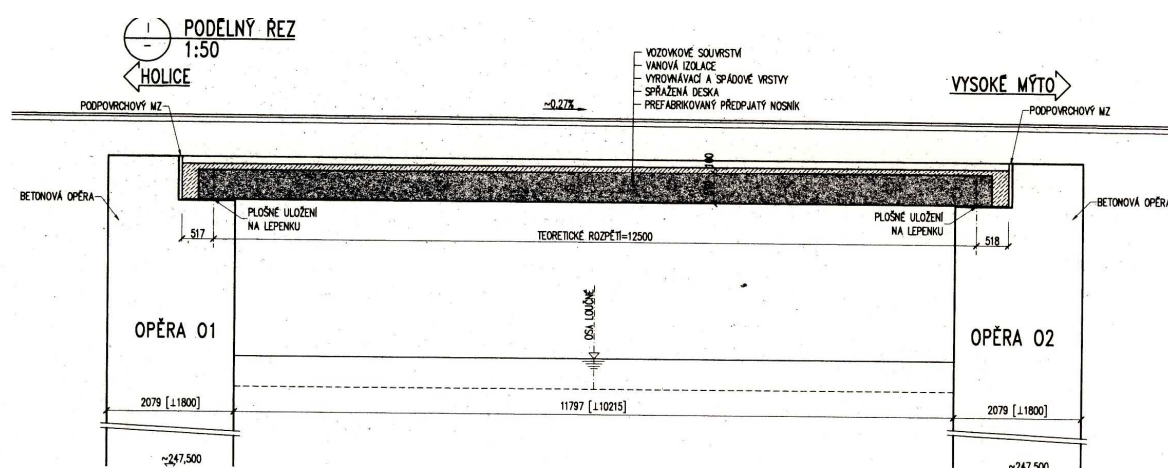


Obr.30 Návrh rekonstrukce mostů – situace

Pro odběr vzorků byla zvolena římsa mostu, na které byly zjevné příznaky degradovaného betonu a bylo by zde možné provést vodorovné vrty. Dostupná vrtací technika umožňuje provádění odběrů nejlépe shora dolů, případně vodorovně, není možný zvolit směr vrtání nad hlavou, zdola nahoru. Z hlediska odběrů vzorků bylo obtížné zpřístupnit odběrná místa pro pracovníky Ústavu stavebního zkušebnictví, s kterými bylo provedení prací dohodnuto. Nutné by bylo zřídit lešení, zajistit zdroj elektrické energie a přípojku vody pro výplach. Bylo proto rozhodnuto provést odběr vzorků v rámci demolice. Realizaci stavby zajišťovala firma MADOS Lupenice. Práce byly zahájeny v červenci 2007 a neprodleně po realizaci objízdné trasy byly



Obr.28 Pohled zespoda na nosnou konstrukci



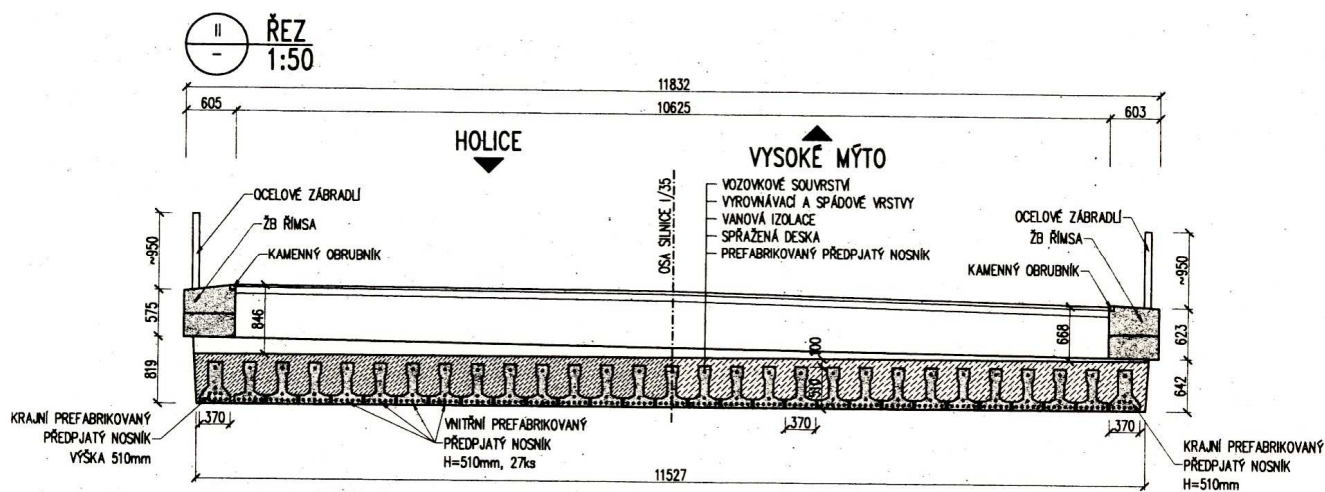
Obr.29 Podélný řez nosnou konstrukcí

Projekt rekonstrukce obou mostů vypracoval TOP CON servis s.r.o. Praha. Oba mosty byly postaveny v 50. letech minulého století z předem předpjatých nosníků se spráženou deskou. Při úpravě nivelety silnice I/35 v údolnicovém



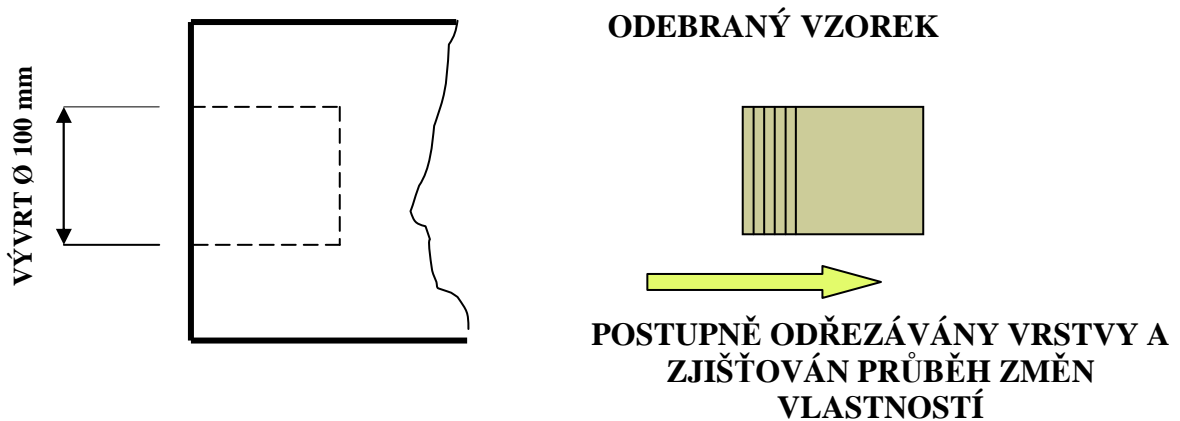


Obr.26 Most 083 Týništko – stav před demolicí



Obr.27 Příčný řez nosnou konstrukcí





Obr.25 Předpokládané schéma způsobu získání vzorků

### 3.2 Výběr objektu a realizace experimentu

Pro experimentální ověření byly po dohodě s ŘSD Pardubice vybrány silniční mostní objekty 083 a 084 na silnici I /35 v Týnišťku, určené k demolicí. Bylo dohodnuto, že z těchto mostních konstrukcí, pocházejících z roku 1950, bude před demolicí odebráno 3 – 6 ks jádrových vývrtů v narušených místech betonové římsy mostu. Jádrový vývrt  $\varnothing$  100 mm o mocnosti 10 – 15 cm bude potom zkoušen tak, že budou odřezávány vrstvy vývrtu směrem od povrchu dovnitř a na nich bude postupně měřena v mnoha místech tvrdost betonu pomocí Schmidtova kladívka. Způsob provedení těchto prací byl projednán s Ústavem stavebního zkušebnictví Pardubice. Na jednotlivých řezech by bylo následně provedeno doplňkové měření hodnoty pH výluhu. Možnost měření byla projednána v SYNPO a.s. Pardubice. Rozsah odebraných vývrtů, jejich rozřezání a provedení tvrdoměrné zkoušky představuje částku cca 15 tis. Kč, která je přijatelná zejména vzhledem k nízké zůstatkové ceně objektu.

## 2 Cíle disertační práce

Pro disertační práci byly stanoveny následující cíle:

### 2.1 Návrh jednoduché diagnostické metody.

Navrhnout jednoduchou diagnostickou metodu pro určení stavu degradace starší betonové nosné konstrukce

### 2.2 Experimentální ověření

Metodu experimentálně ověřit měřeními na vzorcích odebraných na stávajícím mostním objektu určeném k demolici.

### 2.3 Predikce zbytkové životnosti

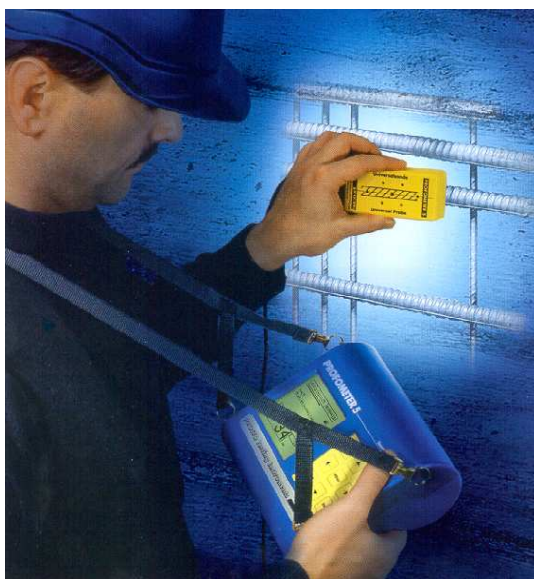
Stanovit závislosti pro predikování zbytkové životnosti betonové nosné konstrukce.

Navržená metoda by měla splňovat zejména podmínku snadné aplikace pro starší betonové mosty menších rozpětí při dodržení určité ekonomické relace ve vztahu k zůstatkové ceně.

## 3 Zvolené metody a postup řešení

### 3.1 Idea řešení

Pomocí jádrových vývrtů se na zvolených místech odeberou vzorky, na kterých budou postupně zjišťovány jejich fyzikálně mechanické a chemické vlastnosti, které jsou schopné vypovědět o stavu jejich degradace. Zkoušky budou prováděny po vrstvách, aby bylo možné zjistit jejich změny v závislosti na vzdálenosti od povrchu betonu. Kriteriem pro volbu metod je zejména možnost rychlého a jednoduchého provedení, byla proto zvolena metoda měření pevnosti pomocí Schmidtova kladívka.



Obr.23 Indikátor výztuže PROFOMETER 5

1.10.3.2 Zjištění zkorodované výztuže  
Měřením elektrického pole na povrchu betonu lze zjistit korodující a nekorodující místa výztuže uvnitř betonu.



Obr.24 Analyzátor koroze výztuže



má hodnotu pH nižší než 9,5. Negativní test ukazuje na pokročilou degradaci betonu, který ztrácí funkci pasivní ochrany výztuže proti korozi.

#### 1.10.2.4.2 Elektrometrické metody

Z odebraných vzorků se vytvoří drť, která se vyluhuje v destilované vodě a pomocí přístrojů, založených na principu měření elektromotorické síly článku, který je tvořen dvojicí elektrod z různých materiálů ponořených do roztoku. Elektromotorická síla je dána rozdílem potenciálu obou elektrod, který je závislý na koncentraci vodíkových iontů.



Obr.22 Zařízení na měření pH roztoků

### 1.10.3 Metody pro určení polohy výztuže a zjištění stavu koroze

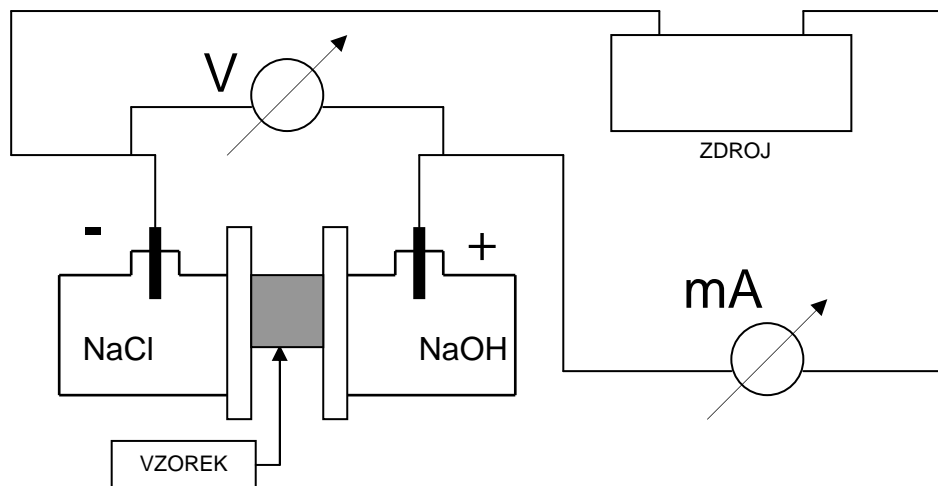
#### 1.10.3.1 Určení polohy výztuže

Indikačním přístrojem lze určit polohu výztužných prutů, jejich průměr a krytí výztuže betonem.

vysoušedlo. Zkouška se provádí v klimatizační skříni při teplotě 25°C a relativní vlhkosti 85% a vážením se zjišťuje přírůstek váhy vysoušedla, přepočtem se získá množství vodní páry které v čase několika dnů měření prostoupilo vzorkem. Tyto zkoušky jsou užívány zejména při posuzování účinnosti navrhovaných povrchových úprav.

#### 1.10.2.3 Rychlá zkouška propustnosti chloridových iontů (RCPT)

Metoda určuje odolnost betonu vůči pronikání chloridových iontů na základě určení elektrické vodivosti betonu stanovením odporu. Vzorek válcového tvaru je umístěn do měřicí cely mezi dvě nádržky. Nádržka obsahující 3% roztok NaCl je připojena k zápornému pólu, nádržka obsahující roztok NaOH ke kladnému pólu elektrického zdroje a po dobu 6 hodin je měřen procházející elektrický proud při napětí 60 V. Přepočtem se získá náboj prošlý vzorkem a podle jeho velikosti lze určit, zda propustnost vzorku pro chloridové ionty je vysoká nebo zanedbatelná.

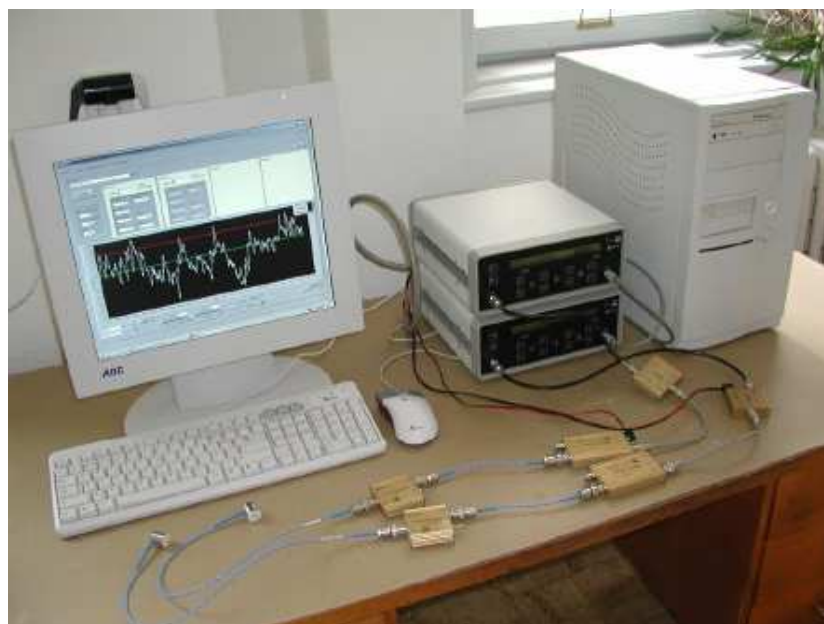


Obr.21 Schéma uspořádání měřicí aparatury RCPT.

#### 1.10.2.4 Stanovení pH výluhu

##### 1.10.2.4.1 Kolorimetrické metody

Pro hodnocení kvality betonu má význam také fenolftaleinový test karbonatů betonu. Jedná se o jednoduchý chemický test, kdy na povrch betonu nanese 1% roztok fenolftaleinu rozpuštěného v etylalkoholu. Pokud je test pozitivní, tj. povrch betonu se zbarví fialovou barvou, má beton pH vyšší než 9,5 a není zkarbonatován. Pokud je test negativní, beton se nezbarví a



Obr.20 Měřicí aparatura akustické emise při běžné aplikaci

analyzátor a řídicí počítač vyhodnocuje a s velkou přesností měří změny napětí v závislosti na změně zatížení. Možnosti užití této moderní metody při diagnostice mostů najde jistě uplatnění zejména při zatěžovacích zkouškách.

### 1.10.2 Metody pro určení fyzikálně chemických vlastností betonu

Předpokládá se odběr vzorků betonu a jejich následný rozbor v laboratoři podle podrobných chemických postupů.

#### 1.10.2.1 Metody chemické analýzy

Mezi tyto metody patří např. stanovení ztráty žháním, termické analýzy, rentgenometrické stanovení hlavních mineralogických složek, polarografie, infračervená spektrografie apod. Společné pro tyto metody je jejich značná časová náročnost a nákladnost. Obdržené výsledky jsou přesné pro odebraný vzorek, vypovídací schopnost pro danou konstrukci může být zatížena značnou chybou při volbě odběrného místa.

#### 1.10.2.2 Laboratorní určení difúzních vlastností betonu

Pomocí těchto metod lze stanovit difúzní vlastnosti vzorku. Vzorek o průměru 224 mm a tloušťce 5 – 40 mm se umístí do difúzní misky, v jejíž spodní části je



#### 1.10.1.2.2.2 Ultrazvuková metoda

Využívá vztahu mezi rychlostí šíření ultrazvuku (=mechanické kmity o vysoké frekvenci 1 -15 MHz) a pevností betonu. Univerzální ultrazvukový defektoskop DiO 562 je na DFJP k dispozici, použití této metody je ale velmi omezené, hodí se spíše pro zjišťování vad v ocelových konstrukcích, zejména při vyhodnocování svarových spojů a navíc vyžaduje praxi a značné zkušenosti.



Obr.19 Ultrazvukový defektoskop DiO 562

Rychlost šíření ultrazvuku v betonu je ovlivněna velikostí zrn kameniva, vlastnostmi horniny z níž je kamenivo vytvořeno, množstvím cementové malty, hutnosti, vrstevnatosti a vlhkosti betonu, což způsobuje možnost dalšího stupňování chyb oproti tvrdoměrným metodám.

#### 1.10.1.2.2.3 Prozařovací metody

Využívají schopnosti elektromagnetického záření o krátkých vlnových délkách pronikat různými materiály. Podle zdroje záření rozeznáváme rentgeny a radioizotopy (Co 60, Ir192, Cs137...) Při studiu odborné literatury nebyl nalezen příklad uplatnění těchto metod v oboru betonových konstrukcí, běžné je užití těchto metod při kontrole ocelových konstrukcí a svarů.

#### 1.10.1.2.2.4 Akustická emise

Principem metody je „odposlech“ procesů vznikajících v konstrukci během zatížení. Na sledované místo se upevní sondy, které s velkou citlivostí snímají signály, které vlnový

přípravit soubor vzorků a pomocí metod matematické statistiky určit kalibrační vztah. Příklady nedestruktivních metod pro určení fyzikálně mechanických vlastností betonu :

#### 1.10.1.2.2.1 Tvrdoměrná (sklerometrická) metoda

Užívá se pro určení pevnosti betonu v tlaku. a je při ní využívána korelace mezi tvrdostí cementového kamene a pevností betonu. Jsou užívány zejména tyto přístroje:

- Špičákový tvrdoměr (dle ing.Maška)
- Kuličkový tvrdoměr (HPS kladívko, kladívko Baumann-Steinbrück-Franck)
- Waitzmannovo zkušební kladívko se srovnávací tyčkou (upravené Poldi-kladívko)
- Schmidtovo kladívko typu N,L,M

Nejužívanější je Schmidtovo kladívko N.



Obr.18 Tvrdoměr DIGI Schmidt

Výpočet pevnosti betonu v tlaku dle ČSN 73 1373 potom z naměřených devíti hodnot vylučuje ty které od střední hodnoty jsou rozdílné o víc než 20%, upravuje je pomocí obecných kalibračních vztahů v závislosti na poloze kladívka, redukuje je podle vlhkosti vzorku a takto potom stanoví pevnost vzorku betonu v tlaku. Nutno je vzít v úvahu, že měření může být zatíženo četnými nepřesnostmi (chyby přístroje, příprava zkušebního místa, vlastní zkoušení a vyhodnocení)

#### 1.10.1.2.1.5 Petrografický rozbor

Odebrané vzorky lze použít pro petrografický rozbor, kterým je na zvětšených vzorcích zjištěna přítomnost krystalických produktů karbonatace nebo sulfatace. Plochy vzorků pro provedení rozboru se musí předem připravit broušením na diamantových brusných podložkách a následným vyleštěním v několika krocích na speciálních přípravcích. Vzorky se potom vyšetřují pomocí scanovací elektronové mikroskopie na specializovaných pracovištích.



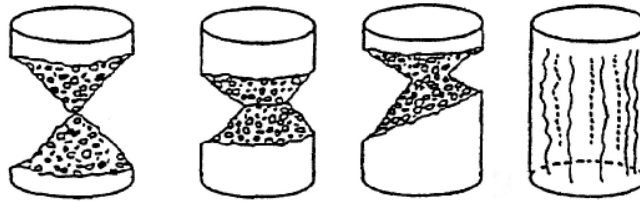
Obr.16 Bruska a leštička PowerPro 3000



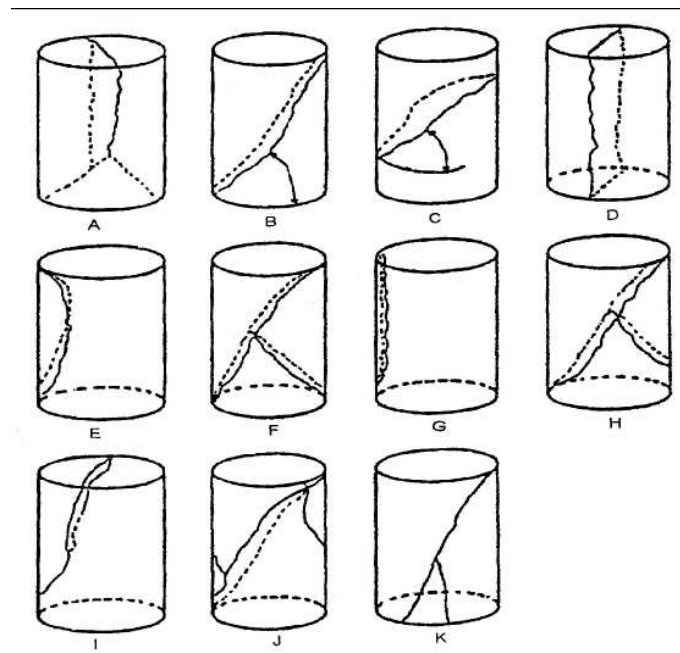
Obr.17 Scanovací elektronový mikroskop

#### 1.10.1.2.2 Nedestruktivní

Těmito metodami se zkouší materiál bez porušení zpravidla přímo na konstrukci. Pokud pro jejich užívání neexistují normy nebo předpisy, je nutno



Obr.14 Vyhovující způsoby porušení zkušebních vzorků



Obr.15 Některé nevyhovující způsoby porušení zkušebních válců

#### 1.10.1.2.1.3 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost betonového vzorku se zjistí zvážením na váhách a přepočtem na jednotku objemu zjištěnou změřením průměru a výšky válce.

#### 1.10.1.2.1.4 Stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti vzorku se provádí gravimetrickou metodou. Odvážený vzorek se umístí na 5 hodin do sušárny s teplotou 50°C. Po vychladnutí v exsikátoru se znovu zváží, úbytek na váze znamená vlhkost. Ta se potom vyjádří v % ve vztahu k původní hodnotě.



- Barva a charakter tmelu (šedá barva svědčí o vyšším množství cementu, béžová či hnědá naopak může znamenat nižší obsah pojiva)
- Množství a velikost pórů, dutin a případně kaveren v betonu
- Množství, směr, hloubka, rozměry a druh výztuže.

Tělesa pro zkoušky pevnosti v tlaku betonu získáme řezáním na stolní pile s diamantovým kotoučem.

#### 1.10.1.2.1.2 Zjišťování pevnosti v tlaku

Tělesa se ve stavu přirozeně vlhkém změní, zváží a následně zkouší v tlaku.



Obr.13 Hydraulický lis Toni PACT II na provádění tlakových zkoušek

Stanoví se pevnost v tlaku u každého zkušební tělesa, a to dělením maximálního zatížení průřezovou plochou, vypočtenou ze středního průměru. Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,5 MPa.

Při zkoušce je nezbytně nutné zkontrolovat plochy porušení zkušebních těles (viz. obr.14. a 15.)

testů pevnosti v tlaku na tělesech o průměru 100 mm, 50 mm a 25 mm. Umístění vývrtů na konstrukci se volí v návaznosti na konstrukční důsledky:

- Vývrty mají být přednostně odebírány v místech s minimálním výskytem výztuže
- Odběr se provádí tak, aby nebyl v blízkosti spár nebo hran betonových prvků.

Označení a identifikace probíhá ihned po ukončení vrtání kdy se na vývrt označuje typ vrtaného prvku, umístění a orientace vrtu. Vyšetření vývrtů se provádí vizuálně pro stanovení všech možných odchylek. Pro vyšetření se provádí následující měření:

- Průměr vývrtu - měření probíhá s přesností  $\pm 1\%$  dvojnásobně vzájemně kolmým měřením v polovině a čtvrtinách délky vývrtu;
- Délka vývrtu – je nutné změřit maximální a minimální délku s přesností  $\pm 1\%$  po odběru a po úpravě koncůváním;
- Výztuž – měří se průměr a velikost případné výztuže, poloha. Měření se provádí s přesností na 1mm



Obr.12 Označení vývrtu

Pro následné zkoušky se vývrty nejprve označí nesmazatelně na každé jejich části. Dále se všechny části přiloží k sobě a vyznačí se nesmazatelně hloubka od povrchu konstrukce pomocí čar. Při popisu vývrtu sledujeme zejména tyto vlastnosti:

- Druh, tvar, množství a maximální velikost hrubého kameniva;

## 1.10.1.2 Přístrojové metody

### 1.10.1.2.1 Destruktivní

#### 1.10.1.2.1.1 Odběr vzorků pomocí jádrových vývrtů

Předpokladem dalších zkoušek je odběr neporušených vzorků, jejichž vlastnosti se potom zjišťují zkouškami a laboratorními rozbory na specializovaných pracovištích.

Vzorky se zpravidla odebírají jádrovými vývrti nejčastěji o  $\varnothing$  100 mm.



Obr.11 Jádrové vrtací zařízení CEDIMA H-201 PROFI

Problematika vývrtů ze ztvrdlého betonu je řešena zejména v ČSN EN 12504-1. Vývrti získané jádrovým vrtákem jsou vyšetřeny, upraveny buď zabroušením nebo koncováním a zkoušeny v tlaku normovým postupem. Odběr vývrtu představuje vždy značný zásah do konstrukce, a proto je před vlastním provedením vývrtů nezbytné plně zvážit účel zkoušení a hodnocení výsledných údajů. Počet vývrtů vychází z velikosti a členitosti zkoumané konstrukce. Průměr vývrtů by obecně měl být co nejmenší, na druhé straně musí respektovat strukturu betonu a normu stanovující přípustné rozměry zkušebních těles. Pokud je velikost maximálního zrna kameniva větší než 1/3 průměru vývrtu, má to značný vliv na zjištěnou pevnost. Norma však odběr takových vzorků přímo nezakazuje, naopak je nepřímo povoluje uvedením odkazu na informativní přílohu, ve které jsou uvedeny výsledky srovnávacích

Metodický pokyn navazující na ustanovení vyhlášky 104/97 a ČSN 73 6221 Prohlídky mostů, podle kterého je k provádění hlavních a mimořádných prohlídek zapotřebí zvláštního oprávnění, která jsou uveřejňována ve Věstníku dopravy. Prohlídky mostů může vykonávat osoba, která má odpovídající vzdělání, praxi a vybavení k výkonu prohlídky. Při prohlídkách mostů se užívá převážně smyslových metod.

### 1.9.3 Nutné vybavení pro diagnostiku mostů

Ve smyslu Zákoníku práce je nedílnou a trvalou součástí kvalifikačních předpokladů znalost předpisů k zajištění bezpečnosti práce, bezpečnosti technických zařízení a ochrany zdraví při práci. V tom smyslu musí být zajištěno, že pracovníci, kteří budou provádění diagnostické prohlídky přítomni, budou z příslušných bezpečnostních předpisů v předepsaných termínech vyškoleni, budou mít platnou lékařskou prohlídku a budou mít předepsané vybavení.

Základní vybavení pro diagnostiku mostů :

- Zpřístupňovací technika (žebříky, lešení, montážní plošina...)
- Bezpečnostní pomůcky (pásy, přilby, reflexní vesty, vhodná obuv...)
- Osvětlovací prostředky
- Náradí, připevňovací technika
- Záznamová zařízení (fotoaparát s bleskem, videokamera...)
- Základní měřidla (pásmo, metr, posuvka, mikrometr...)
- Speciální měřidla a přístroje podle druhu (jádrová vrtačka, Schmidtovo kladívko...)

## 1.10 Diagnostické metody

Z rešerše provedené v průběhu práce jsou uvedeny pouze ty metody, které pro řešení dané problematiky přicházejí do úvahy jako použitelné.

### 1.10.1 Metody pro určení fyzikálně mechanických vlastností betonu

#### 1.10.1.1 Smyslové metody

Zjišťujeme jimi : povrchová poškození, kvalitu povrchu, trhliny (lupa), deformace a posuny většího rozsahu (vodováha, olovnice), kvalitu materiálu (geologické kladivo, špičák)



## 1.9 Diagnostika mostů

### 1.9.1 Náplň diagnostických postupů

Diagnostika mostů zahrnuje činnosti, pomocí kterých je možné zjistit technický stav mostního objektu z hlediska schopnosti plnit statickou a dynamickou funkci pro předpokládaný provoz a určené podmínky. Zjistí-li se závadný stav, je nutné zjistit příčinu, kterou může tvořit i více faktorů najednou, a to jak ve stadiu výroby, tak i v období provozování. Pro rozsah diagnostiky a její obsahovou náplň není jednoznačný předpis. Rozdílné požadavky plynou zejména z vážení významu stavby z hlediska vyřazení na určitou dobu z provozu, přesnosti odhadu ceny potřebné opravy případně demolice a nové stavby a ceny vlastního diagnostického průzkumu. V mnoha případech je rekonstrukce zdůvodnitelná jen tehdy, jsou-li pro ní zvláštní důvody, např. památkové nebo architektonické. Zjištění stupně degradace betonu je zpravidla součástí diagnostického průzkumu, často bývá jako součást i provedení výpočtu zatížitelnosti. Rozsah je specifikován smluvně mezi objednatelem a zpracovatelem.

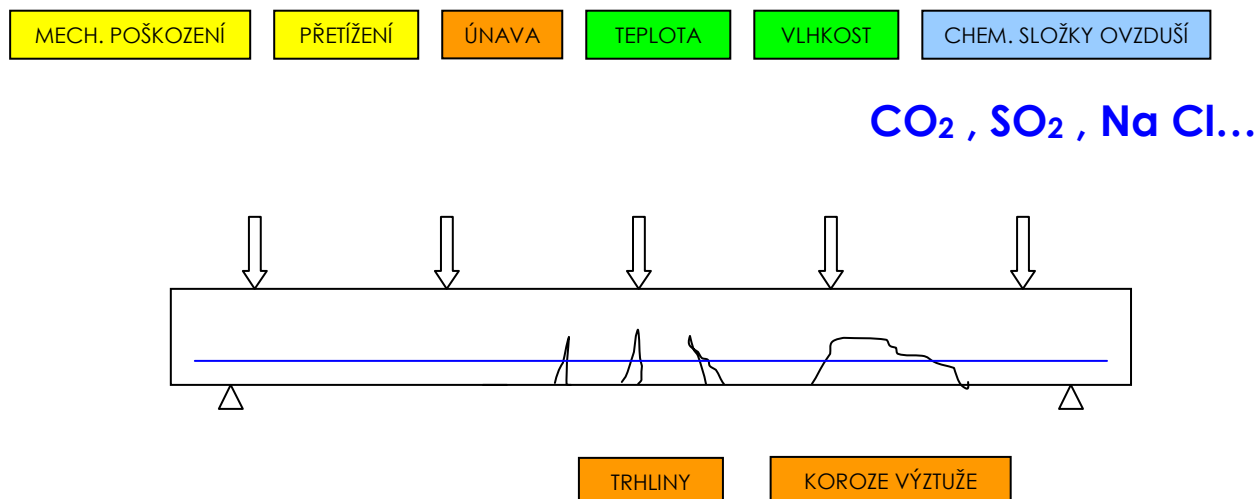
Provedení je výhodné dohodnout v několika stupních :

V rámci *předběžné* diagnostiky se shromáždí nejobecnější informace o historii objektu, vývoji provozního využívání, návaznosti na nejbližší okolí a územní celek včetně ekologických vazeb, konstrukčních charakteristikách a vadách. Prostudují se dostupné podklady, zejména projektová dokumentace, výrobní výkresy a jiné zachované doklady. Informace získané v základní etapě se v rámci *podrobné* diagnostiky konkretizují, aktualizuje se stávající stav objektu, ověří se druh a kvalita použitých materiálů, stanoví se jejich statické parametry pomocí dostupných metod. Provede se vizuální prohlídka, pořídí se fotodokumentace a případná geodetická zaměření. Podle předem dohodnutého schématu se odeberou vzorky. Specifikují se příčiny zjištěného špatného stavu konstrukce a zjištěných vad. Lze provést zatěžovací zkoušku. V průběhu projektování rekonstrukce se v rámci *doplňkové* diagnostiky ověří a doplní získané poznatky, případně se přehodnotí sporné závěry předchozích stupňů. Mohou nastat i jiné případy, kdy je požadována diagnostika např. po nárazu do konstrukce, před přepravou nadměrného nákladu apod.

Pro provádění diagnostiky staveb uděluje Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků autorizační oprávnění.

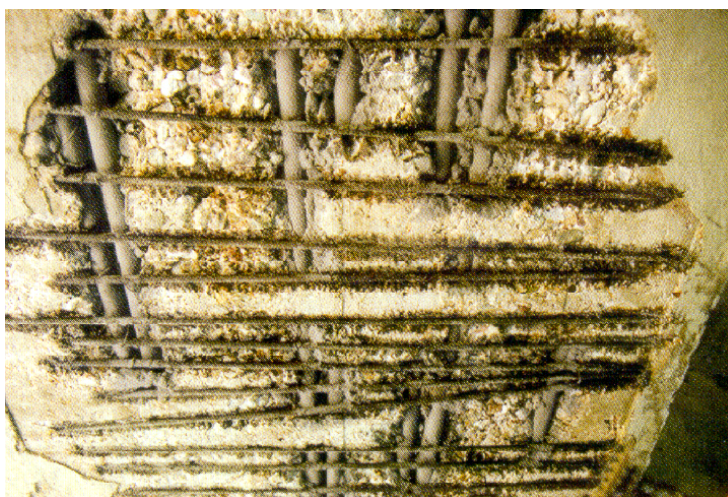
### 1.9.2 Prohlídky mostů

Vlastník objektu má povinnost v celém průběhu užívání stavby zabezpečovat její bezpečný provoz a za tím účelem musí provádět systematicky kontroly jejího technického stavu. Pro provádění prohlídek vydalo Ministerstvo dopravy



Obr.9 Sekundární činitelé ovlivňující trvanlivost betonu

Pasivační tlaky vznikající při korozi výztuže nakonec způsobí odloupení krycí vrstvy výztuže. Dospěje-li konstrukce až do tohoto stadia, je její oprava velmi obtížná a nákladná.



Obr.10 Příklad odloupení krycí vrstvy výztuže

Podmínka alkalického prostředí se musí respektovat zejména při sanacích zkorodovaných konstrukcí.

#### 1.8.5.2.3 Mezikrystalická koroze

Této korozi se říká také „koroze pod napětím“, neboť postupuje po hranicích krystalických zrn napjaté oceli. Rozeznáváme korozi anodovou a katodovou. Při anodové probíhá oxidace železa, na katodě se může vyvíjet vodík uvolněný při této oxidaci. Při katodové železo neoxiduje, korozi způsobují ionty vodíku na katodě soustředěné. Ty pod velkým tlakem pronikají mezi krystaly oceli a jsou příčinou vzniku trhlin, které mohou vést k náhlému porušení. Katodovou korozi podporuje křehkost, zakalení, napětí v oceli, vady na jejím povrchu, vnitřní pnutí a místní trhlinky.

#### 1.8.5.3 Model koroze výztuže

Změnu průměru výztuže pro plošnou korozi lze popsat dle [] rovnicí :

$$d_s(t) = d_s - 0,0232 \cdot (t - t_0) \cdot i_{corr}$$

kde  $d_s(t)$  je průměr výztuže zmenšený korozí v čase  $t$

$d_s$  průměr výztuže

$t_0$  je doba pasivního stádia

$i_{corr}$  je hustota proudové koroze v  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

Hustota proudové koroze  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  představuje vrstvu  $11,6 \mu\text{m}$  zkorodované vrstvy výztuže za 1 rok podle měření na skutečných konstrukcích.

#### 1.8.6 Sekundární činitelé ovlivňující trvanlivost betonu

Činitelé, označené na následujícím schématu žlutooranžovou barvou, jsou ovlivňovány převážně kvalitou vstupních materiálů, označené žlutou barvou jsou ovlivňovány především lidským faktorem, zelená barva označuje vlivy počasí. Modrá barva označuje vlivy působení chemických složek nahodile přítomných v okolním prostředí.

## 1.8.5.2 Druhy koroze

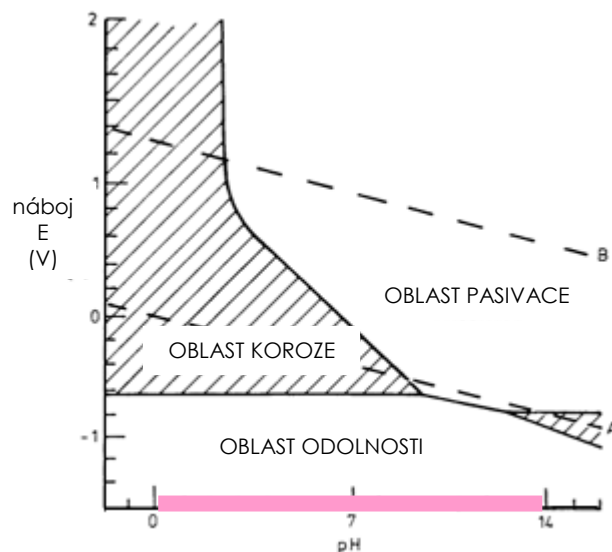
### 1.8.5.2.1 Chemická koroze

Chemická koroze je přímá oxidace železa chemikáliemi. V místech styku se vzdušným kyslíkem se tvoří produkty korozní reakce a na povrchu železa se objevuje povlak oxidů železa, jehož nárůst závisí na dalším pronikání korozního chemického prostředí touto již vytvořenou vrstvou.

### 1.8.5.2.2 Elektrochemická koroze

Koroze výztuže v betonech je převážně způsobována složitými elektrochemickými reakcemi. Povrch výztuže je vlivem nečistot elektrochemicky nehomogenní. Za přítomnosti vody s nepatrným obsahem solí jako elektrolytu se tak vytvářejí galvanické články, při nichž železo jako anoda za přítomnosti kyslíku oxiduje na oxidy a hydroxidy.

Vztah mezi korozí, potenciálem elektrody a hodnotou pH nám udává následující diagram :



Obr.8 Pourbaixův diagram, znázorňující vztah mezi korozí, hodnotou pH a elektrickým potenciálem elektrody

Silná koroze probíhá v oblasti mezi křivkami, při pH 9,6 až 13 ocel ve vodě nekoroduje. Pochody, které zde probíhají, jsou ve skutečnosti mnohem složitější. Pro praxi nejdůležitější poznatek je, že výztuž je nejlépe chráněna v hutných betonech, kde je bráněno přístupu vlhkosti a kyslíku z okolního prostředí k výztuži, na jejímž povrchu je vytvářeno alkalické prostředí.



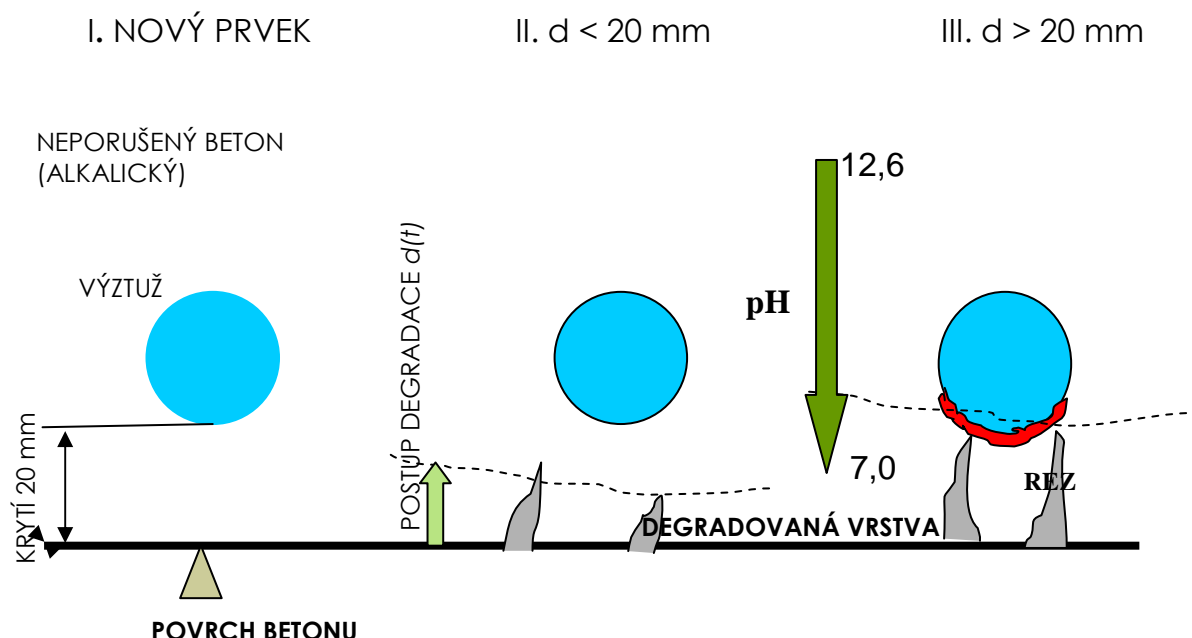
#### 1.8.4 Chloridová koroze

Betonové konstrukci, na které jsou trhliny od zatížení, nebo u které již došlo k zahájení korozních jevů vlivem oxidů z ovzduší, hrozí zpravidla další nebezpečí, kterým je působení chloridových iontů. I když vozovky na mostních konstrukcích se nesolí, může dojít k zanesení soli na most na kolech motorových vozidel z vozovek mimo most, případně v mlze obsahující rozpuštěné chloridy mohou zasáhnout i spodní části mostu. Záporné volné chloridové ionty migrují pomocí vlhkosti v krycí vrstvě betonu a mohou způsobit bodové napadení výztuže, které je velmi nebezpečné. Kromě toho po určitém období působení a dosažení určitého kritického množství chloridových iontů může dojít k jejich proniknutí k výztuži a způsobit plošný korozní proces.

#### 1.8.5 Koroze výztuže

##### 1.8.5.1 Iniciace koroze výztuže

Dobu, která uplyne od zhotovení konstrukce až do okamžiku, kdy degradace betonu prostoupí celou vrstvou krytí až k výztuži ohraničuje pasivní stadium ochrany výztuže. U konstrukcí vyrobených z betonu bez vad a v běžném přírodním prostředí toto období trvá desítky let. V okamžiku, kdy koncentrace škodlivin na povrchu výztuže překročí kritickou hodnotu, dochází k iniciaci depasivace výztuže. Určení tohoto iniciačního času je z hlediska určení zbytkové životnosti rozhodující.



Obr.7 Schématické znázornění postupu degradace



Obr.6 Znamky koroze betonu na mostě v Týništičku

Rychlost karbonatce závisí zejména na koncentraci  $\text{CO}_2$  v ovzduší, značný vliv má i relativní vlhkost ovzduší. Optimální podmínky pro šíření karbonatce jsou mezi 50 – 95 % vlhkosti prostředí. Výrazněji se karbonatce prosadí u betonů vyrobených z pórovitého kameniva, škvárobetonů a pórobetonů.

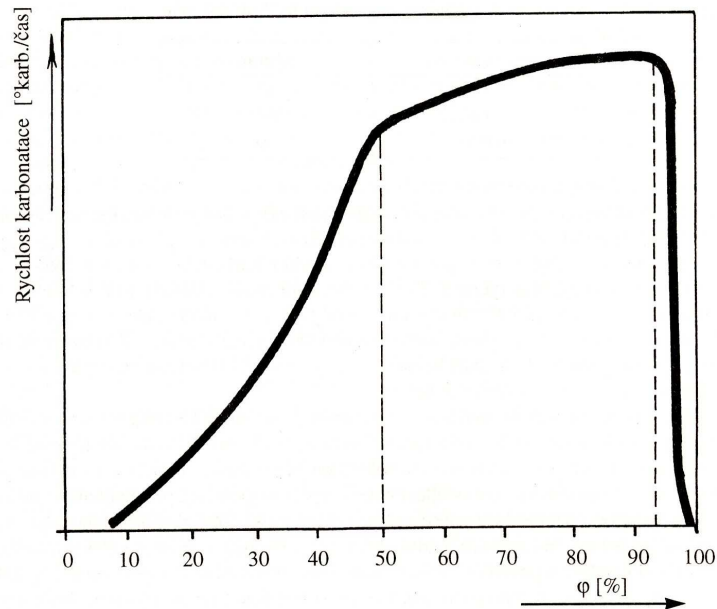
### 1.8.2 Sulfatace betonu

Sulfatace betonu je druh koroze betonu, kdy působením oxidu siřičitého z ovzduší za vlhka vzniká z cementových tmelů sulfát vápenatý ( $\text{Ca SO}_4$ ) a sulfát hlinitovápennatý ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 3/\text{CaSO}_4 + 32,6 \text{H}_2\text{O}$ ) - tzv. cementový bacil. Jejich krystaly beton nejprve roztrhají a pak se chemickou přeměnou změní v mazlavou hmotu. Po chemické stránce jde o složitý proces, kdy v závislosti na vlhkosti vzniká řada meziproductů (hemihydrát siřičitanu vápenatého, trisulfát vápenatý, ettringit, sádrovec), z jejichž výskytu lze usuzovat, v jakém stadiu se sulfatace nachází. Celý proces je opět provázen poklesem hodnoty pH. Oxid siřičitý je pro beton nejškodlivější složkou zastoupenou v atmosféře. Existuje však i nebezpečí, že se může objevit i jako výluh z některých používaných produktů hoření, jako jsou popílký a škvára. Vedle těchto základních degradačních procesů existuje celá řada dalších reakcí a jejich synergických působení.

### 1.8.3 Koroze směsí $\text{CO}_2$ a $\text{SO}_2$

Koroze směsí  $\text{CO}_2$  a  $\text{SO}_2$  postupuje v betonu tak, že po karbonataci, během které došlo ke vzniku krystalů kalcitu, probíhá koroze siřičitanová, během které dochází k podstatné změně fyzikálně mechanických vlastností betonu. Výsledně dochází i k rozkladu kalcitu a směrem dovnitř vzorku dochází postupně ke změně karbonátů na sulfáty (sádrovec).

Z následujícího grafu dle [6] je zřejmá závislost rychlosti postupu karbonatce na relativní vlhkosti vzduchu, pokud je sucho nebo 100 % vlhkost, postup se zastaví.



Obr.5 Závislost rychlosti karbonatce na relativní vlhkosti

## 1.8 Příčiny a průběh degradace

### 1.8.1 Karbonatce betonu

Karbonatce betonu je druh koroze betonu, při kterém oxid uhličitý pronikající z ovzduší do betonu mění hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  s hodnotou pH 12,6 na uhličitan vápenatý  $\text{CaCO}_3$  s hodnotou pH 7, zpočátku jako jemnozrnné krystaly, které v dalším období překrystalizovávají na hrubozrnné modifikace kalcitu a aragonitu s více než desetinásobným objemem. Ty poté prostupují celou strukturu cementového tmelu, což má za následek ztrátu pevnosti a celistvosti betonu. Celý proces je po chemické stránce složitý, v jeho průběhu se vyskytuje celá řada krystalických modifikací. Na povrchu betonu se karbonatce projevuje vznikem výkvětů a skvrn, jejichž povrch je práškovitý, bílé barvy.

$\delta$  je součinitel difúzní vodivosti CO<sub>2</sub> zkarbonatovaným betonem  
 $\approx 6 \cdot 10^{-12} \text{ s}$

Dosažením vychází potřeba 130 kg CO<sub>2</sub> na zkarbonatování 1 m<sup>3</sup> betonu a rozvedením Fickova zákona lze psát :

$$d = K\sqrt{t} \quad (\text{m}) ,$$

kde  $d$  (m) je tloušťka zkarbonatované vrstvy v čase  $t$  (s),

a

$$K = \frac{2Dp}{b\sqrt{\mu RT}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}) ,$$

kde  $D$  je součinitel difúzního odporu v atmosféře

$p$  je tlak daného plynu v atmosféře

$b$  je množství plynu, které může zreagovat s 1 m<sup>3</sup> betonu

$\mu$  je bezrozměrný součinitel difúzního odporu betonu

$R$  je plynová konstanta vodní páry vztažená na 1 kg (J.kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)

$T$  je absolutní teplota (° K)

Potom vychází  $K = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1/2})$

Tento postup je dle Matoušek - Drochytka [6]. Tloušťka degradované vrstvy narůstá pouze s druhou odmocninou času, druhý činitel je vyjádřen konstantou  $K$ . Tato představa může být funkční v laboratorních podmínkách, kde lze zajistit konstantní tlak působícího CO<sub>2</sub> za standardních podmínek. V běžných přírodních podmínkách se z této konstanty stává funkce, závislá na více parametrech, především na koncentraci škodlivin v ovzduší, ale také na teplotě a vlhkosti okolí. Rovněž difúzní odpor betonu je proměnlivá veličina, závislá na velikosti trhlin od zatížení i smršťování. Proměnlivost všech veličin má náhodný charakter.



## 1.7 Difúze plynů a vodních par v betonu

Vodní páry, oxid uhličitý, oxid siřičitý i chloridové ionty pronikají kapilárně-pórovitými materiály difúzí, což je vlastně transport látky v spojitých pórech druhé látky. Matematickým vyjádřením difúze v izotropním prostředí za stálých okrajových podmínek je první Fickův zákon :

$$i = -D \cdot \text{grad } c ,$$

který konstatuje, že hustota difúzního toku, čili množství difundující látky, které prochází jednotkou plochy za jednotku času  $i$  ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), je přímo úměrné gradientu koncentrace  $c$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) ve směru kolmém k této ploše, když součinitel úměrnosti je koeficient difúze  $D$  ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ). Mění-li se gradient s časem, pro jednorozměrný případ lze zapsat vztahem (druhý Fickův zákon) :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} ,$$

kde  $t$  je čas. V technické praxi se potom gradient vyjadřuje rozdílem parciálních tlaků na obou stranách desky a užívá se součinitel difúzní vodivosti  $\delta$ , což je materiálová konstanta která vyjadřuje, kolik kg vodní páry projde daným materiálem plochou  $1 \text{ m}^2$  do hloubky  $1 \text{ m}$  za  $1$  sekundu při tlakovém rozdílu  $1 \text{ Pa}$ .

Platí :

$$\delta = \frac{D}{RT} ,$$

kde  $R$  je plynová konstanta pro daný plyn ( $\text{N m kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )  
 $T$  je absolutní teplota ( $^\circ \text{K}$ )

Dále jsou zavedeny ještě pomocné veličiny činitel difúzního odporu a ekvivalentní difúzní tloušťka.

Pro množství difundujícího  $\text{CO}_2$  lze psát rovnici :

$$dQ = \delta \frac{p_1 - p_2}{d} F dt \quad (\text{kg})$$

kde  $p_1$  je parciální tlak  $\text{CO}_2$  ve vzduchu  $\approx 30 \text{ Pa}$   
 $p_2$  je parciální tlak  $\text{CO}_2$  pod zkarbonatovanou vrstvou  $\approx 0$   
 $d$  je tloušťka zkarbonatované vrstvy (m)  
 $F$  je plocha kolmá k toku  $\text{CO}_2$   
 $t$  je čas (s)

## 1.6.2 Vlivy chemického charakteru z ovzduší

### 1.6.2.1 Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>

Mezi plynné exhaláty, s kterými se můžeme u nás v ovzduší setkat a jejichž negativní vliv v působení na beton byl objeven v poslední době, patří zejména oxid uhličitý. Ostatní chemické sloučeniny (sirovodík, amoniak, formaldehyd, kyseliny, arzén, olovo) působí místně, nejsou rovněž uvažovány emise oxidu dusíku, oxidu uhelnatého a uhlovodíků ze spalovacích procesů. Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je celkem stabilní a činí asi 60 mg CO<sub>2</sub> na 1 m<sup>3</sup> vzduchu. Velké zvýšení je možno pozorovat např. u přírodních pramenů, v kvasném průmyslu, při ustájení většího množství hospodářských zvířat, ve spalínách apod.

### 1.6.2.2 Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>

Běžná koncentrace oxidu siřičitého v přírodním prostředí nepřesahuje 0,01 mg SO<sub>2</sub> na 1 m<sup>3</sup> vzduchu. Ve větších městech koncentrace silně vzrůstá, zejména v zimních měsících kdy je spalováno hnědé uhlí. Z hygienického hlediska nejvyšší přípustná koncentrace oxidu siřičitého je 0,15 mg SO<sub>2</sub>, nárazově až 0,5 mg SO<sub>2</sub> v 1 m<sup>3</sup> vzduchu. Rozložení emisí SO<sub>2</sub> a jejich zdrojů na území ČR je velmi nerovnoměrné a sleduje hlavní průmyslové oblasti, kde bývají přípustné koncentrace překračovány. Odsířením hlavních zdrojů znečištění jsou tyto emise cílevědomě snižovány.

### 1.6.2.3 Chloridové ionty

Hlavním zdrojem chloridových iontů jsou rozmrazovací soli NaCl, CaCl<sub>2</sub>, dalším zdrojem může být mořská voda u staveb na pobřeží. Chloridy se usazují na povrchu betonu ve formě velmi jemných kapiček rozptýlených ve vzduchu a přenášených větrem.

Přesto, že výskyt škodlivin v ovzduší je na mnoha místech monitorován a zaznamenáván, nelze předpokládat, že pro danou lokalitu by se podařilo zpětně určit pro dané období průběh změn jejich koncentrací s určitou přesností.

### 1.5.6 Vlivy snižující předpětí

Kromě ztrát předpětí od smršťování, pružného přetvoření, teplotních změn. a dotlačování betonu je nutné počítat se ztrátami od pokluzu přepínací výztuže v kotvení, se ztrátami třením přepínací výztuže v zakřivených kanálcích, se ztrátami od postupného zavádění předpětí případně dopínání a se ztrátami od dotvarování předpjeté výztuže. V rámci diagnostiky je nutné posoudit velikost ztrát skutečných s hodnotami uvažovanými ve statickém výpočtu.

## 1.6 Vlivy životního prostředí

### 1.6.1 Fyzikální vlivy působící na beton

#### 1.6.1.1 Elektrické napětí

Žádný nepříznivý vliv elektrického proudu u prostého betonu nebyl pozorován. U železového betonu je třeba opatrnosti v případě, když výztuží by mohl procházet stejnosměrný proud vysokého napětí. Je-li beton vlhký nastává tu elektrolyza, na výztuži se nadměrně tvoří rez a může dojít k odprýskání betonu.

#### 1.6.1.2 Vysoké teploty

Žár vyvozuje vnitřní napětí a působí trhliny. Velkým žarem se mohou různé přísady vypalovat a beton může ztrácet pevnost. Tyto okolnosti musí být zváženy při diagnostice betonových konstrukcí zasazených požárem.

#### 1.6.1.3 Nízké teploty

Beton je tím odolnější, čím je hutnější, tj. čím má méně vnitřních dutinek a pórů. Ty potom umožňují vsáknutí vody a její zmrznutí. Vzniklé ledové krystaly potom trhají betonovou hmotu a odštěpují částičky. Škodlivě působí zejména střídání mrazu a oblevy, současně probíhá v rámci RILEM<sup>6)</sup> výzkum s cílem objasnit závislost trvanlivosti betonu na četnosti cyklů zmrazení hluboko pod bod mrazu.

#### 1.6.1.4 Ionizující záření

Negativní účinky dlouhodobě působícího ionizujícího záření na betonové konstrukce nejsou známy. Současně je rozpracován projekt svědečných vzorků, který by měl objasnit řadu zatím nevysvětlených jevů. Těžké betony se užívají v jaderné energetice jako stínící konstrukce a lze očekávat určité poznatky až po likvidaci prvních elektráren.

---

<sup>6)</sup> RILEM – Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Constructions et Ouvrages Paris – Mezinárodní unie laboratoří a expertů v konstrukčních materiálech a systémech konstrukcí Paříž, [www.rilem.org](http://www.rilem.org)

### 1.5.3 Smršťování

Tvrdnoucí beton se na vzduchu smršťuje a to po dobu několika roků. Polovina celkového smrštění se projeví po 28 dnech, za tři měsíce je převážná část smršťování realizována. Vlivem smršťování se zkrátí každý metr délky o 0,2 – 0,3 mm, smršťování je tím větší, čím beton obsahuje více cementu a čím je cement jemněji mletý, čím je větší vodní součinitel, čím větší je podíl jemného písku, čím menší je pevnost kameniva a čím méně byl beton hutněn.

Pro časový průběh smršťování se obvykle uvádí rovnice :

$$\varepsilon_{as,t} = \varepsilon_s \sqrt{1 - e^{-\sqrt{t}}}$$

Kde  $\varepsilon_{s,t}$  je konečná hodnota smrštění,  
 $e$  je základ přirozených logaritmů  
 $t$  je doba smršťování v rocích.

### 1.5.4 Vliv změn teploty

Součinitel tepelné roztaživosti betonu se zavádí pro beton i železobeton do výpočtů hodnotou :

$$\alpha = 0,000\ 012$$

Teplotní průběh v příslušném stavebním prvku je nutno rozčlenit do čtyř složek: rovnoměrně rozdělené po celém průřezu, lineárně proměnné podle vodorovné osy, lineárně proměnné kolem svislé osy a nelineárně proměnné. Indikativní hodnota teplot pro letní období je +37°C, pro období zimní -24°C. Teplotní změny u mostů jsou potom předepsány podle typu mostovky a její orientace. Stavba musí být rozdělena dilatačními spárami na díly, které se mohou samostatně smršťovat, roztahovat a zkracovat. U monolitických staveb je vzdálenost těchto spár nutno navrhovat menší než 40 m. Opomenutí těchto zásad nebo jejich nevhodné technické řešení se může stát příčinou vzniku závad.

### 1.5.5 Únava materiálu

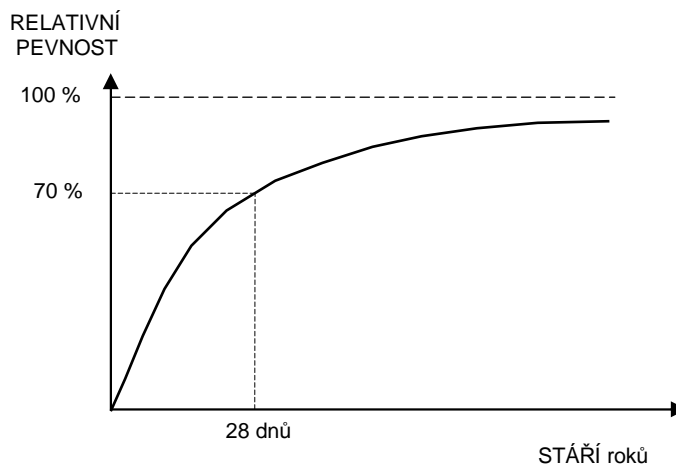
Pevnost betonu, který je vystaven vlivem proměnlivosti zatížení střídání napětí, je po mnoha tisících cyklech menší, než pevnost zjištěná obvyklou zkouškou. Tento jev je nazýván únavou materiálu. Je-li těleso namáháno střídavě tahem a tlakem, může činit jeho únavová pevnost je cca 40 % původní hodnoty, při pulsující proměně napětí, což u betonových konstrukcí je častější případ, je snížení pevnosti cca 20 %. Při navrhování betonových konstrukcí bylo předpokládáno, že vliv únavy nepřevýší přírůstek pevnosti stářím. Nové normy předepisují, že výrobky musí mít vyhovující pevnost na únavu.



## 1.5 Změna vlastnosti betonu v čase

### 1.5.1 Změna pevnosti v čase

Krychelná pevnost betonu s časem narůstá, první rok asi o třetinu hodnoty, jakou měl po 28 dnech tvrdnutí. Skutečné hodnoty v konstrukci jsou ale ovlivňovány způsobem zatěžování.



Obr.4 Obvyklá závislost pevnosti betonu na čase

### 1.5.2 Dotlačování

Totéž napětí může za různých podmínek odpovídat různě velkému přetvoření, při téměř přetvoření mohou vznikat různá napětí. Každá změna napětí způsobuje okamžité přetvoření, které má část pružnou – vratnou a část nepružnou – trvalou, a k tomu přistoupí ještě dlouhodobý přetvárný proces, jehož výsledkem může být po letech deformace několikrát větší než přetvoření okamžité. Pro časový průběh dotlačování se obvykle uvádí závislost :

$$f(t) = 5 \left[ \left( 1 - e^{-\sqrt{t}} \right)^{\frac{1}{2}} - \left( 1 - e^{-\sqrt{t_0}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

kde  $e$  je základ přirozených logaritmů,

$t$  je doba v rocích od vybetonování až do začátku působení napětí

$t_0$  je stáří betonu od vybetonování až do doby, pro kterou deformaci počítáme

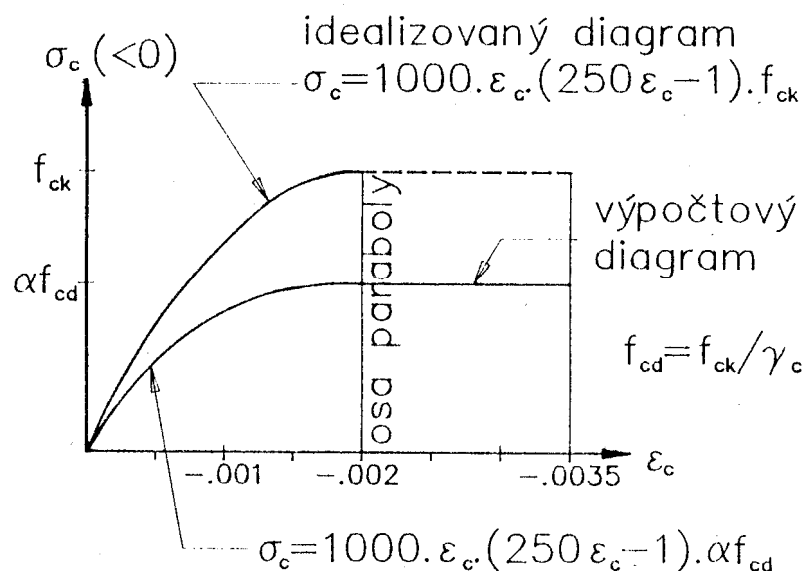
#### 1.4.4 Pracovní diagram

Souvislost napětí s přetvořením není u betonu jednoznačná, deformační zákon betonu je nelineární. Modul pružnosti je hodnota proměnná, závisí na intenzitě a rychlosti zatěžování a také na celkovém čase. Pro stanovení jeho velikosti pro výpočet průhybu je často uváděn empirický vzorec :

$$E_b = 14700 + 400\kappa_K \quad (\text{MPa}),$$

kde  $\kappa_K$  je krychelná pevnost betonu

Pro beton namáhaný tlakem je doporučeno používat parabolicko-  
rektangulární idealizaci pracovního diagramu s mezní hodnotou poměrného  
stlačení  $\varepsilon_{cu} = 0,0035$ .



Obr.3 Pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem

Součinitel příčného přetvoření  $\mu$  lze uvažovat pro prostý beton při namáhání tlakem hodnotou  $0,15 - 0,2$ , pro beton železový (sloupy vyztužené třímínky) je možné uvažovat s nulovou hodnotou.

OZNAČENÍ	PRŮMĚR	CHARAKTERISTIKA
Vzduchové póry	0,1 – 1 mm	Kulovité dutiny
Kapilární póry	30 nm – 50 μm	Kapilární dutiny
Gelové póry	0,5 – 30 nm	Malé kapiláry

Tab.2 Charakteristika pórů v betonu

### 1.4.3 Vznik trhlin od zatížení

První trhlina v tažené části betonu vznikne v okamžiku, kdy poměrné protažení tažené vrstvy betonu dosáhne mezní hodnoty  $\epsilon_t$ . Ta zpravidla není pouhým okem vidět, ale v ní se náhle zvýší napětí výztužných vložek, které se v trhlíně protáhnou, průhyb nosníku vzroste a vznikají trhlinky další. Napětí v ocelových vložkách v místě trhliny je větší než uprostřed mezi trhlínami, kde ještě tažený beton spolupůsobí. U prvku namáhaného ohybovým momentem lze poté z této úvahy vyjádřit část ohybového momentu, kterou přenesou betonový průřez v této části mezi trhlínami prakticky bez výztuže. Označíme-li vzdálenost trhlín  $s_{rm}$ , musí tato část síly do výztuže vypočtená jako podíl částí momentu a ramene vnitřních sil být přenesená soudržností mezi ocelí a betonem na polovině této vzdálenosti. Z této úvahy lze odvodit výraz pro stanovení vzdálenosti trhlín, lze užít vzorec :

$$s_{rm} = 50 + 0,25k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi}{\rho_r} [mm]$$

kde  $\phi$  je průměr výztužné vložky v mm  
 $k_1$  je součinitel vyjadřující vliv soudržnosti 0,8 – 1,6  
 $k_2$  je součinitel vyjadřující rozdělení poměrných  
přetvoření 0,5 pro ohyb  
 $\rho_r$  je účinný stupeň vyztužení

Výpočtovou šířku trhliny  $w_k$  lze stanovit ze vztahu :

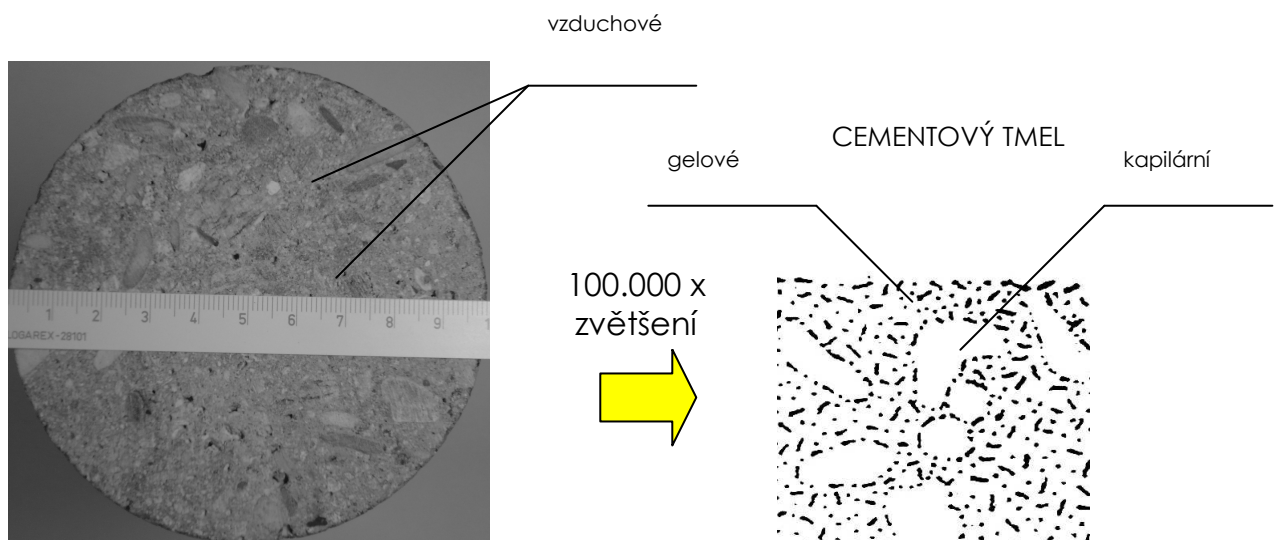
$$w_k = \beta \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm}$$

kde  $\beta$  je součinitel převádějící průměrnou hodnotu šířky  
trhliny na výpočtovou  
pro přímé zatížení lze užít 1,7  
 $\epsilon_{sm}$  je střední hodnota poměrného přetvoření

Z hlediska trvanlivosti běžných konstrukcí lze předpokládat, že vyhoví největší šířka trhliny rovná 0,3 mm, vypočtená pro stálé zatížení.

### 1.4.2 Pórovitá struktura

Beton je kompozitní materiál, který na makroskopické úrovni se skládá z velkých zrn kameniva obklopených maticí malty a nahodile vnesenými vzduchovými póry. Na nižší rozlišovací úrovni vystupuje malta obsahující písková zrna obklopená maticí cementového tmelu. Na nižší, mikroskopické úrovni je nutné uvažovat, že cementový tmel je složen z hydratačních produktů a z nezhydratovaných zrn cementu a její součástí je soustava kapilárních pórů. Na nejnižší, submikroskopické úrovni lze rozlišit vykrytalizované částice nejružnějšího tvaru a složení, mezi nimiž se nachází další soustava gelových pórů. Beton je pórovitý materiál a jeho složitá soustava pórů spolu se soustavou trhlin vytváří transportní cesty pro šíření útočných složek z okolního prostředí.



Obr.2 Druhy pórů v betonu

Pórovitá struktura betonu je ovlivňována zejména druhem použitého cementu, vodním součinitelem, užitím přísad a příměsí, teplotou a vlhkostí prostředí tuhnutí a způsobem ošetřování. Vlastnosti pórové soustavy jsou dány velikostí a tvarem jednotlivých druhů pórů. Na přenosu složek vnějšího prostředí k velkému vnitřnímu povrchu se nepodílí všechny druhy pórů stejně, transportní cesty jsou tvořeny různým způsobem propojenou soustavou trhlin a pórů rozmanitého tvaru a velikosti. Pórovitost betonu lze určit pomocí řady exaktních metod, pro posouzení transportní způsobilosti pórového systému to není ale ukazatel dostatečný.



## 1.4 Charakteristické vlastnosti betonu

### 1.4.1 Alkalické prostředí

Kyselost nebo zásaditost výluhu se vyjadřuje koncentrací vodíkových iontů, tj. počtem gramatomů vodíku, disociovaného jako kation  $H^+$  v 1000 ml roztoku. Tento údaj se nazývá aktivní kyselost. K vyjádření aktivní zásaditosti není třeba koncentrace hydroxylových iontů  $OH^-$ , protože ve vodných roztocích platí

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

kde  $[H^+]$  je koncentrace vodíkových iontů  
 $[OH^-]$  je koncentrace hydroxylových iontů  
 $10^{-14}$  je iontový součin (disociační konstanta) vody

Z toho vyplývá, že ke každé koncentraci vodíkových iontů přísluší určitá koncentrace hydroxylových iontů, a koncentrace vodíkových iontů stačí tedy i k definování aktivní zásaditosti.

V neutrálních roztocích  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ , protože  
 $[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$

V kyselých roztocích je  $[H^+]$  větší než  $[OH^-]$ , t.zn. je-li  $[H^+] \geq 10^{-7}$ , je roztok kyselý.

V zásaditých roztocích je  $[H^+]$  menší než  $[OH^-]$ , tedy  $[OH^-]$  je větší než  $10^{-7}$ , t.zn. je-li  $[H^+] \leq 10^{-7}$ , je roztok zásaditý.

Maximální aktivní kyselost je tehdy, jestliže je  $[H^+] = 1 = 10^0$  a maximální zásaditost je tehdy, je-li  $[OH^-] = 1 = 10^0$ , tj. je-li  $[H^+] = 10^{-14}$ . Z toho vyplývá, že koncentrace vodíkových iontů v běžných roztocích je vyjádřena velmi malými čísly od 1 do  $10^{-14}$ . Aby bylo snadnější počítání, zavedl se symbol pH, což je záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů:

$$pH = -\log[H^+] = \log \frac{1}{[H^+]}$$

Hodnota pH pro zásadité prostředí klesá od hodnoty 14 do hodnoty 7 pro prostředí neutrální, nižší hodnota než 7 znamená prostředí kyselé. U čerstvého betonu je vnitřní prostředí zásadité – alkalické, jeho pH se pohybuje v rozmezí 11,5 – 12,6. Aktivní kyselost nebo zásaditost je důležitým činitelem pro chování mnohých látek. Stanovení hodnoty pH je možno provést zásadně dvěma způsoby – kolorimetricky a elektrometricky.

### 1.2.2.3 Krytí výztuže betonem

Krytím rozumíme nejmenší vzdálenost povrchu vložek od líce betonu. Minimální tloušťka krycí vrstvy musí zajistit přenesení sil v soudržnosti, ochranu výztuže proti korozi a potřebnou požární odolnost. Je závislá na jakosti použitého betonu a podmínkách prostředí, v kterém se konstrukce nalézá. Minimální krytí je pro jednotlivé případy předepsáno, nikdy by nemělo být nižší než 20 mm.

### 1.2.3 Předpjatý beton

Na rozdíl od železobetonu je myšlenka konstrukcí z předpjatého betonu založena na vnesení určitého napětí do nosného prvku již ve stadiu jeho výroby tak, aby v provozním stadiu vlivem zatížení docházelo k jeho snižování. Předpětí je řešeno buď předem, nebo dodatečně a pro jeho realizaci byla vyvinuta řada průmyslových aplikací. Předpokladem je vždy vysoká pevnost betonu i přepínací výztuže. Zatížením je napětí v betonu a výztuži poté pouze korigováno (tzv. výztuž aktivní).

Pro předpínací výztuž jsou nejčastěji užívány svazky patentovaných drátů nebo lana.

## 1.3 Rozdělení betonu do tříd dle pevnosti

Pevnost betonu v tlaku se klasifikuje podle pevnostních tříd, které se vztahují k válcové pevnosti  $f_{ck}$  nebo ke krychelné pevnosti  $f_{ck,cube}$  :

Třída betonu	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{ck}$ (MPa)	12,0	16,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0

Tab.1 Současně platné třídy betonu

V starší dokumentaci se lze setkat s označováním tříd betonu dle krychelné pevnosti betonu (v starších jednotkách  $\text{kg/cm}^2$ ) řady B 60 – 80 – 105 – 135 – 170 – 250 – 330 – 400 – 500 – 600 .

### 1.2.2 Železobeton

Pracovní diagram betonu není symetrický, výhodnější vlastnosti jsou v tlakové oblasti, zatímco v tahové oblasti je pevnost betonu jen okolo jedné desetiny jeho pevnosti v tlaku. Proto u konstrukcí, kde se vyskytují tahová napětí, se do této oblasti vkládají za účelem přenesení tahových sil výztužné ocelové vložky. Beton i ocel staticky spolupůsobí a stavivo takto vytvořené se nazývá železobetonem. Návrh výztuže vychází ze statického výpočtu a v průběhu vývoje byla vypracována řada zásad a pravidel pro uspořádání vložek ve vyztužených prvcích. Napětí ve výztuži vzniká až v důsledku působícího zatížení (tzv. výztuž pasivní).

Technické železo je slitinou železa s uhlíkem, křemíkem, manganem, fosforem, sírou, mědí, dusíkem, kyslíkem, které jsou buď nežádoucími a neodstranitelnými přímíšeninami z výroby, nebo jsou úmyslně přidávány pro dosažení určitých vlastností. Ocelí potom rozumíme železo, u kterého se odstraní oxidací uhlík pod hodnotu 1,5 %, pro vyztužování betonu jsou potom užívány pruty průměru od 5 do 60 mm. Tepelným zpracováním (žíhání, kalení, popouštění, patentování...) lze docílit vyšších pevností, různým profilováním povrchu (Roxor, Toros...) lze zvýšit soudržnost s betonem. Sortiment výztuží vyráběných pro dříve realizované konstrukce je velmi rozsáhlý.

#### 1.2.2.1 Soudržnost mezi výztuží a betonem

Krystaly, tvořící se v hydratujícím cementovém tmelu který obaluje výztuž, přirůstají k povrchu vložky a vytváří spojení mezi ocelí a betonem. Napětím v soudržnosti rozumíme průměrnou hodnotu tangenciálního napětí, kterou daná síla vyvodí na povrchu zabetonované části vložky. K vytržení vložky z betonu je zapotřebí určitá síla, která odpovídá mezní hodnotě tohoto napětí. Účinnost soudržnosti závisí na povrchové úpravě vložky, na rozměrech prvku a poloze a sklonu vložky při betonování. Výpočtové hodnoty napětí v soudržnosti  $f_{bd}$  jsou předepsány v normách v závislosti na typu užitých vložek a druhu betonu.

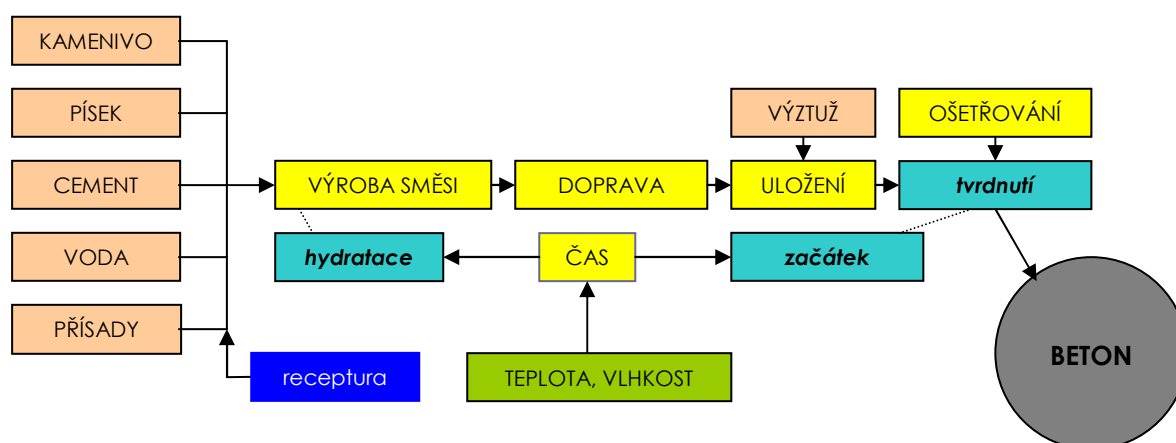
#### 1.2.2.2 Kotvení výztuže

Výztužné pruty musí být zakotveny tak, aby se vnitřní síly, kterými jsou namáhány, přenesly do betonu a aby se zabránilo vzniku podélných trhlin, popř. odlupování betonu. Základní kotevní délka je přímá délka vložky, která je zapotřebí k zachycení síly ve výztuži za předpokladu, že při rovnoměrném rozložení napětí nebude překročena předepsaná hodnota napětí v soudržnosti. Koncové úpravy prutů se provádí zpravidla pomocí háků. Je-li to nutné, musí se navrhnout příčná výztuž.

Rovnice není úplně jednoznačná, současně probíhají i reakce ostatních složek a přísad. Výsledkem je zásaditý cementový tmel na bázi vápence, pomocí kterého je z vloženého kameniva vytvořen beton, materiál s objemovou hmotností 1800-2600 kg/m<sup>3</sup> a krychelnou pevností 10,5-70 MPa, jehož alkalické prostředí uvnitř tvoří přirozenou ochranu proti korozi výztužných vložek.

### 1.1.6 Primární činitelé ovlivňující trvanlivost betonu

Vstupní suroviny a způsob provedení betonáže a ošetření spolu s klimatickými vlivy v období provádění prací mají zásadní vliv na kvalitu vyrobeného betonu a pro jeho trvanlivost mají nejdůležitější význam. V následujícím schématu činitelé označené žlutooranžovou barvou jsou ovlivňovány převážně jakostí vstupních materiálů, označené žlutou barvou jsou ovlivňovány převážně lidským faktorem, zelená barva označuje vlivy počasí.



Obr.1 Primární činitelé ovlivňující trvanlivost betonu

## 1.2 Rozdělení betonů dle způsobu vyztužení

### 1.2.1 Prostý beton

Dobrá pevnost v tlaku, ale podstatně nižší pevnost tahová, umožňují použití prostého betonu zejména v masivních konstrukcích namáhaných převážně tlakovými účinky. Nevýhodou je křehký charakter porušení. Za prostý beton je nutno považovat i slabě vyztužený beton, u kterého průřezová plocha podélné výztuže  $A_{s,min}$  je menší než 0,3 % průřezové plochy betonu  $A_c$ .



vzorky, na kterých je po 28 dnech tuhnutí zjišťována tlakem v lisu krychelná pevnost betonu. Dnes již neplatná norma ČSN 73 2400 Provádění a kontrola betonových konstrukcí určovala okamžik ukončení zpracování jako ten, ve kterém se začíná měřit stáří betonu. Tato definice je dokonalá v tom smyslu, že se jedná o okamžik, ve kterém se struktura betonu poprvé nachází ve stavu, kdy je její uspořádání neměnné a definitivní. Nově platná ČSN EN 206 – 1 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda požaduje, aby byl znám okamžik přidání vody do směsi. Tento čas je uvažován jako počátek procesu hydratace a tudíž okamžik, od kterého se začíná měřit stáří betonu.

### 1.1.3 Doprava betonové směsi

Pro dopravu betonové směsi jsou užívány nejrůznější typy dopravních prostředků od koleček, nákladních aut a badií po domíchávače a čerpadla. Existuje nebezpečí, že během dopravy může dojít při zdržení k začátku hydratace, nebo že při delší dopravě může setřesením dojít k oddělení frakcí.

### 1.1.4 Uložení betonové směsi

Pro vytvoření bednění, do kterého se betonová směs ukládá, mohou být použity různé způsoby, z nichž nejběžnější je tradiční tesařsky zhotovené dřevěné bednění nebo některý typ systémového bednění, u prefabrikovaných konstrukcí potom různé druhy forem. Do bednění se poté vkládá výztuž, jednotlivé prvky jsou stykovány vázáním, když v určitém období bylo užíváno svařování. Poloha výztuže v bednění musí být před uložením betonové směsi v bednění zafixována. Jednotlivým typům provedení bednění potom odpovídají výsledné rozměrové tolerance, není vyloučeno, že mohlo dojít k pohybu výztuže. Po dopravení směsi do bednění a jejím rozprostření se provede její zhutnění, které se provádí dusáním, pěchováním, vibrováním, setřásáním, vibrolisováním apod., přičemž dochází k odstranění vzduchových bublin a nadbytečné vody. Objem se zhutněním zmenší o 25 – 35 %.

### 1.1.5 Tvrdnutí betonu

Od betonáže po 7 dnech dosahuje beton průměrně 65 % pevnosti a po 28 dnech jeho pevnost dále narůstá již nevýznamně. 28 dnů tvoří rozhraní mezi mladým a zralým betonem, pojmu ztvrdlý beton lze užívat od okamžiku, kdy je beton v pevném stavu a má již určitou pevnost. Do doby ztvrdnutí je však zapotřebí beton ošetřovat kropením. V některých případech zejména při výrobě prefabrikátů bývá pomocí různých technických opatření (propařování apod.) nárůst pevnosti výrazně urychlován. Po stránce chemické se na tvrdnutí z 80 % podílí trikalciumpilát, rovnici lze napsat :



velmi dlouho, obvykle se vyjadřuje pevností v tlaku po 1, 3, 7, 14, 28, a 90 dnech.

Je známo mnoho druhů cementů, které se liší jak některými vlastnostmi, tak pevností.

#### 1.1.1.4 Voda

Voda potřebná pro rozmíchání cementu vstupuje do chemické reakce, zbylá část vytváří s cementem mazivo mezi zrny a umožňuje tím pohyb směsi.

#### 1.1.1.5 Výztuž

Výztužné ocelové vložky jsou vyráběny ze železa, u kterého se odstraní oxidací uhlík pod hodnotu 1,5 % , tepelným zpracováním (žihání, kalení, popouštění, patentování...) se docílí vyšší pevnosti, různým profilováním povrchu (Roxor, Toroz...) se zvýší soudržnost s betonem. Zvláštní skupinu tvoří dráty a lana, kterými se vnáší předpětí u předpínaných konstrukcí.

#### 1.1.1.6 Přísady

Přísady mohou být různé přípravky, pomocí kterých se dosáhne zvláštních vlastností betonu. Takto lze docílit lepší zpracovatelnost směsi, možnost betonáže při nízkých teplotách, lze vyrobit lehké nebo naopak těžké betony, prodloužit nebo zkrátit proces tuhnutí a tvrdnutí, zvýšit jeho obrusnost, snížit smršťování případně zajistit jeho vodotěsnost.

Všechny složky betonové konstrukce prošly složitým vývojem, během kterého upřesňováním poznatků docházelo k změnám názorů na výrobní receptury a způsoby vyztužování. Vznikaly výrobky různých obchodních názvů, měnily se způsoby označování. Podchycení těchto okolností má pro diagnostikovanou konstrukci zásadní význam.

### 1.1.2 Výroba betonové směsi

Poměry všech složek se řídí požadavkem dosažení požadované pevnosti při dodržení zpracovatelnosti čerstvého betonu na stavbě. Pro stanovení poměrů míšení existuje řada postupů. Pro důležité nosné prvky se receptura zpracovává na základě laboratorních rozborů zrnitosti kameniva, pro méně důležité prvky je cement dávkován předepsaným množstvím na jednotku kameniva. Vodní součinitel potom vyjadřuje poměr váhy vody k váze cementu. S množstvím vody potom souvisí hustota čili konzistence směsi. Podle konzistence rozeznáváme směs zavlhlou, měkkou a tekutou. U stejné směsi tekuté konzistence docílíme vždy menší pevnosti než u směsi měkké a zavlhlé. Výroba betonové směsi probíhá v míchačkách různé velikosti a technického provedení, když rovněž dávkování jednotlivých složek je prováděno různými způsoby s rozdílnou přesností. Pro kontrolu jsou odebírány

# 1 Současný stav problematiky

## 1.1 Podstata betonu

Beton je materiál, který je vytvořen slepením kousků kamene cementovou maltou, tvořenou z pískových zrn a ve vodě hydratovaného cementového tmelu. Pro objasnění degradačních procesů je nejprve rozebrána technologie jeho výroby se zřetelem na všechny činitele, které ovlivňují jeho vlastnosti.

### 1.1.1 Složky tvořící betonovou směs

#### 1.1.1.1 Kamenivo

Kamenivo tvoří kostru betonu. Rozumíme jím přirozenou štěrkopískovou směs nebo drcený lomový kámen velikosti zpravidla od 7 mm do 60 mm, jejichž pevnost v tlaku by neměla být nižší než 40 MPa.

#### 1.1.1.2 Písek

Písek je pevnou přísadou malty, v níž má za úkol vyplnit mezery mezi kameny tak, aby se snížila potřeba pojiva, přitom aby i čerstvá betonová směs dosáhla také určitou hutnost. Také snižuje objemové změny při tuhnutí. Rozumíme jím směs drobných i větších zrn z kamenů přirozených i drcených do velikosti 7 mm.

#### 1.1.1.3 Cement

Cement je prášek vyrobený z vybraných hornin a příměsí pálením v pecích a následným rozemletím výpalku. Pálení (dehydratace) se provádí až do teploty slnutí, které nastává při teplotě 1300 až 1450 °C. Odstraněním vody se dostává surovina do stavu vratké rovnováhy. Přejde-li do styku s vodou, znovu ji váže, hydratuje, vrací se do rovnováhy stálé, znovu tvrdne, zkamení. Kaše, která vznikla rozmícháním pojiva s vodou, přilne přitom ke kamenům a písku a může je spolu stmelovat. Pojem hydraulický přitom označuje vlastnost, že cement tvrdne i pod vodou. Po chemické stránce aktivní složky cementu jsou křemičitany (silikáty) a hlinitany (alumináty) vápna (CaO), převážně :

Dikalciurn-silikát	$2 \text{ CaO Si O}_2$
Trikalciurn-silikát	$3 \text{ CaO Si O}_2$
Trikalciurn-aluminát	$3 \text{ CaO Al}_2 \text{ O}_3$
Pentakalciurn-trialuminát	$5 \text{ CaO } 3 \text{ Al}_2 \text{ O}_3$

Hydratace cementu je provázána uvolňováním tepla, které je větší u kvalitnějších cementů. Důležitou vlastností je též trvání tvrdnutí, které probíhá

## Značení

$E_b$	modul pružnosti betonu
$v_k$	krychelná pevnost betonu
$\alpha$	součinitel tepelné roztaživosti betonu
$\varepsilon_s$	konečná hodnota smrštění
$E(t)$	účinky vnějších vlivů na konstrukci
$R(t)$	odolnost konstrukce
$d(t)$	hloubka karbonatované vrstvy
$K$	koeficient karbonatace
$D$	součinitel difúzního odporu v atmosféře
$p$	tlak daného plynu v atmosféře
$b$	množství plynu, které může reagovat s 1 m <sup>3</sup>
$\mu$	bezrozměrný součinitel difúzního odporu betonu
$R$	plynová konstanta vodní páry vztažená na 1 kg
$T$	absolutní teplota
$\varphi$	funkce hustoty pravděpodobnosti
$\Phi$	distribuční funkce
$\mu$	střední hodnota
$\sigma$	směrodatná odchylka
$\alpha$	šikmost
$p_f$	pravděpodobnost poruchy
$\varepsilon_{cm}$	mezní poměrné přetvoření betonu
$\varepsilon_{sm}$	střední hodnota poměrného přetvoření betonu
$f_{ck}$	pevnost betonu zjištěná na zkušebních válcích
$f_{ck,cube}$	pevnost betonu zjištěná na zkušebních krychlích
$f_{bd}$	výpočtové hodnoty napětí v soudržnosti
$A_c$	plocha betonového průřezu
$A_{s,min}$	minimální průřezová plocha výztuže
$\rho_r$	účinný stupeň vyztužení
$s_{rm}$	vzdálenost trhlin
pH	hodnota stupně kyselosti



často neznámé intenzity je rozhodujícím parametrem zbytková životnost konstrukce. Pro objektivní vyhodnocení technického stavu jsou užívány nejrůznější diagnostické postupy, kdy měřeními získaný určitý soubor veličin stochastické povahy bývá zatížen řadou nejistot a neurčitostí. Pro vyhodnocení je na místě užití pravděpodobnostního přístupu a metod matematické statistiky. Výsledkem potom je predikce dalšího vývoje poruch stanovená s určitou pravděpodobností, důležitá pro kvalifikované rozhodnutí o druhu sanačních opatření případně o nutnosti demolice konstrukce v určeném termínu.

U většiny mostních staveb se setkáváme s betonem, který je užit jako stavební materiál pro vytvoření celé řady konstrukčních dílů s nejrůznějšími funkcemi. Pro jeho užití hovoří celá řada předností. Výhodou je zejména jednoduchá technologie jeho výroby, vytvořit lze libovolný geometrický tvar a betonové konstrukce lze zhotovit prakticky kdekoliv. Vysoká je zejména trvanlivost, kterou za předpokladu kvalitního provedení lze kvantifikovat desítkami roků bezporuchového provozu. Schopnost betonu odolávat působení různým vnějším vlivům chemického charakteru je vlastnost závislá na působení mnoha faktorů, kterými je determinován časový průběh degradačního postupu. Touto prací by mělo být přispěno k zvýšení úrovně poznání těchto procesů. Spolehlivým zjištěním stadia poškození betonové konstrukce v daném okamžiku po mnoha letech provozu mohou být významně redukovány budoucí náklady. Jednoduchá a levná diagnostická metoda zatím neexistuje. V rámci práce je zpracován podrobný rozbor problematiky a současného stavu techniky v této oblasti a na základě těchto znalostí jsou navrženy zásady pro diagnostický postup. Určení mocnosti degradované vrstvy betonu a předpokládaná prognóza dalšího vývoje jako první krok může pak vytvořit precedens pro zodpovědné rozhodnutí o dalším osudu zadané konstrukce bez nutnosti nákladné komplexní diagnostiky. Ekonomický přínos práce tvoří představa možné aplikace metody pro procentně významnou skupinu starších betonových mostů menších rozpětí.

## Úvod

Dopravní stavby slouží k provozování všech druhů dopravy. Jejich infrastruktura je tvořena především hustou sítí silnic a železnic, která vznikala převážně v průběhu posledních dvou století. Nejvýznamnějšími prvky této sítě jsou mostní konstrukce. V České republice existuje dnes více než 20 tisíc mostů nejrůznějšího provedení a stáří. Nezbytnou podmínkou jejich bezpečného provozování je dobrý technický stav. Užité vlastnosti jednotlivých dílů stavby jsou charakterizovány prostřednictvím celé řady technických ukazatelů uvedených v technické dokumentaci. Podobně jsou stanoveny podmínky provozování. Funkce objektu je zajištěna plněním všech těchto ukazatelů a podmínek po celou dobu životnosti<sup>2)</sup> stavby. Pokud objekt tyto funkce plní, je v bezporuchovém stavu, pokud ne, nastává porucha a provozuschopnost mostu je omezena. Skutečnost dnešního dne je alarmující: současný stav řady našich mostů není vyhovující, jejich provozování je udržováno v poruchovém stavu často za cenu omezení. Původ poruch tvoří nejčastěji chyby v projektu, vady materiálu, nekvalitní provedení, zanedbání údržby, dlouhodobé působení negativních fyzikálních a chemických vlivů, překračování zátěže případně havarijní náraz. Přibližně z 80 % tvoří příčinu lidský faktor, zbývajících 20 % jde na vrub vlivů prostředí. Důsledek potom s přibývajícím stářím staveb přináší neustálé narůstání počtu mostů v havarijním stavu. Potřebné náklady na provedení oprav přitom daleko překračují finanční zdroje, které jsou k dispozici. Odborný odhad, publikovaný v denním tisku<sup>3)</sup> udává, že problémy v České republice má 2300 silničních mostů, na jejichž opravu by bylo zapotřebí okamžitě 30 miliard Kč. Podle obdobného odhadu<sup>4)</sup> bylo v roce 2006 v železniční síti 512 nevyhovujících mostů. Rozdělíme-li celkovou částku na celoživotní cyklus<sup>5)</sup> mostní stavby na náklady na projekt, stavbu, provoz, údržbu, opravy, rekonstrukce a demolici, podíl na opravy a rekonstrukce má vzrůstající trend. Dnešní kritéria posuzování variant investice vychází z pořizovacích nákladů při standardní kvalitě konstrukčního řešení a zajištění termínů realizace. Tyto náklady sečtené při uvedení mostu do provozu tvoří fixní částku, od tohoto okamžiku vedle snadno stanovitelných nákladů na údržbu a provoz je nutno uvažovat s náklady na opravy poruch, kterými bude zajišťována spolehlivost konstrukce. Míru spolehlivosti udává hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy, která se odvíjí od pravděpodobnosti dosažení mezního stavu definované poruchy a požadované životnosti daného dílu konstrukce. Při posuzování konstrukce provozované, vystavené dlouhodobému působení neznámých vnějších vlivů a opotřebené provozem

---

<sup>2)</sup> dle přílohy 14. k vyhlášce 540/2002 o oceňování majetku předpokládaná životnost inženýrských staveb podle druhu konstrukce při běžné údržbě činí 50 až 100 let.

<sup>3)</sup> MF DNES 15.srpna 2008 v článku k havárii mostu ve Studénce

<sup>4)</sup> časopis STAVEBNICTVÍ 9/07 – Ing. František Menšík : Stav silničních a dálničních mostů ČR

<sup>5)</sup> celkové náklady v rámci životního cyklu - často označované LCC (Life Cycle Cost)

3.2	VÝBĚR OBJEKTU A REALIZACE EXPERIMENTU.....	47
3.3	VYHODNOCENÍ POZNATKŮ PRVNÍ ČÁSTI EXPERIMENTU .....	57
3.3.1	<i>Užití Schmidtova kladívka .....</i>	<i>57</i>
3.3.2	<i>Zpevnění povrchové vrstvy .....</i>	<i>57</i>
3.3.3	<i>Doplnění experimentu měřením pH .....</i>	<i>57</i>
3.3.3.1	<i>Fenolftaleinový test.....</i>	<i>57</i>
3.3.3.2	<i>Elektrochemické měření.....</i>	<i>58</i>
3.3.4	<i>Závěr první části experimentu .....</i>	<i>60</i>
3.4	KOREKCE DALŠÍHO POSTUPU.....	61
3.5	OVĚŘOVACÍ POKUS .....	62
3.6	PATENTOVÉ NÁROKY .....	65
3.7	VÝBĚR NOVÉHO OBJEKTU PRO PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ.....	65
3.8	ODBĚR NOVÝCH VZORKŮ A MĚŘENÍ PH .....	68
3.9	VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	71
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>75</b>
4.1	CÍL PRÁCE 1. ....	75
4.2	CÍL PRÁCE 2.....	76
<b>4.3</b>	<b>CÍL PRÁCE 3.....</b>	<b>76</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>78</b>
	<b>NORMY A PŘEDPISY .....</b>	<b>78</b>
	<b>KNIHY .....</b>	<b>79</b>
	<b>ČLÁNKY .....</b>	<b>80</b>
	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>84</b>

1.6.2	Vlivy chemického charakteru z ovzduší .....	24
1.6.2.1	Oxid uhličitý CO <sub>2</sub> .....	24
1.6.2.2	Oxid siřičitý SO <sub>2</sub> .....	24
1.6.2.3	Chloridové ionty .....	24
<b>1.7</b>	<b>DIFÚZE PLYNŮ A VODNÍCH PAR V BETONU</b> .....	<b>25</b>
<b>1.8</b>	<b>PŘÍČINY A PRŮBĚH DEGRADACE</b> .....	<b>27</b>
1.8.1	Karbonatace betonu .....	27
1.8.2	Sulfatace betonu .....	28
1.8.3	Koroze směsí CO <sub>2</sub> a SO <sub>2</sub> .....	28
1.8.4	Chloridová koroze .....	29
1.8.5	Koroze výztuže .....	29
1.8.5.1	Iniciace koroze výztuže .....	29
1.8.5.2	Druhy koroze .....	30
1.8.5.2.1	Chemická koroze .....	30
1.8.5.2.2	Elektrochemická koroze .....	30
1.8.5.2.3	Mezikystalická koroze .....	31
1.8.5.3	Model koroze výztuže .....	31
1.8.6	Sekundární činitelé ovlivňující trvanlivost betonu .....	31
<b>1.9</b>	<b>DIAGNOSTIKA MOSTŮ</b> .....	<b>33</b>
1.9.1	Náplň diagnostických postupů .....	33
1.9.2	Prohlídky mostů .....	33
1.9.3	Nutné vybavení pro diagnostiku mostů .....	34
<b>1.10</b>	<b>DIAGNOSTICKÉ METODY</b> .....	<b>34</b>
1.10.1	Metody pro určení fyzikálně mechanických vlastností betonu .....	34
1.10.1.1	Smyslové metody .....	34
1.10.1.2	Přístrojové metody .....	35
1.10.1.2.1	Destruktivní .....	35
1.10.1.2.1.1	Odběr vzorků pomocí jadrových vývrtů .....	35
1.10.1.2.1.2	Zjišťování pevnosti v tlaku .....	37
1.10.1.2.1.3	Stanovení objemové hmotnosti .....	38
1.10.1.2.1.4	Stanovení vlhkosti .....	38
1.10.1.2.1.5	Petrografický rozbor .....	39
1.10.1.2.2	Nedestruktivní .....	39
1.10.1.2.2.1	Tvrdoměrná (sklerometrická) metoda .....	40
1.10.1.2.2.2	Ultrazvuková metoda .....	41
1.10.1.2.2.3	Prozařovací metody .....	41
1.10.1.2.2.4	Akustická emise .....	41
1.10.2	Metody pro určení fyzikálně chemických vlastností betonu .....	42
1.10.2.1	Metody chemické analýzy .....	42
1.10.2.2	Laboratorní určení difúzních vlastností betonu .....	42
1.10.2.3	Rychlá zkouška propustnosti chloridových iontů (RCPT) .....	43
1.10.2.4	Stanovení pH výluhu .....	43
1.10.2.4.1	Kolorimetrické metody .....	43
1.10.2.4.2	Elektrometrické metody .....	44
1.10.3	Metody pro určení polohy výztuže a zjištění stavu koroze .....	44
1.10.3.1	Určení polohy výztuže .....	44
1.10.3.2	Zjištění zkorodované výztuže .....	45
<b>2</b>	<b>CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE</b> .....	<b>46</b>
2.1	NÁVRH JEDNODUCHÉ DIAGNOSTICKÉ METODY .....	46
2.2	EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ .....	46
2.3	PREDIKCE ZBYTKOVÉ ŽIVOTNOSTI .....	46
<b>3</b>	<b>ZVOLENÉ METODY A POSTUP ŘEŠENÍ</b> .....	<b>46</b>
3.1	IDEA ŘEŠENÍ .....	46



## Obsah

<b>PROHLÁŠENÍ AUTORA .....</b>	<b>2</b>
<b>ANOTACE A KLÍČOVÁ SLOVA.....</b>	<b>3</b>
<b>SYNOPSIS AND KEYWORDS .....</b>	<b>4</b>
<b>OBSAH .....</b>	<b>5</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>ZNAČENÍ .....</b>	<b>10</b>
<b>1 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 PODSTATA BETONU .....</b>	<b>11</b>
1.1.1 <i>Složky tvořící betonovou směs.....</i>	<i>11</i>
1.1.1.1 Kamenivo .....	11
1.1.1.2 Písek .....	11
1.1.1.3 Cement.....	11
1.1.1.4 Voda.....	12
1.1.1.5 Výztuž.....	12
1.1.1.6 Přísady .....	12
1.1.2 <i>Výroba betonové směsi.....</i>	<i>12</i>
1.1.3 <i>Doprava betonové směsi.....</i>	<i>13</i>
1.1.4 <i>Uložení betonové směsi.....</i>	<i>13</i>
1.1.5 <i>Tvrdnutí betonu.....</i>	<i>13</i>
1.1.6 <i>Primární činitelé ovlivňující trvanlivost betonu.....</i>	<i>14</i>
<b>1.2 ROZDĚLENÍ BETONŮ DLE ZPŮSOBU VYZTUŽENÍ.....</b>	<b>14</b>
1.2.1 <i>Prostý beton.....</i>	<i>14</i>
1.2.2 <i>Železobeton.....</i>	<i>15</i>
1.2.2.1 <i>Soudržnost mezi výztuží a betonem .....</i>	<i>15</i>
1.2.2.2 <i>Kotvení výztuže .....</i>	<i>15</i>
1.2.2.3 <i>Krytí výztuže betonem.....</i>	<i>16</i>
1.2.3 <i>Předpjatý beton .....</i>	<i>16</i>
<b>1.3 ROZDĚLENÍ BETONU DO TŘÍD DLE PEVNOSTI .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI BETONU .....</b>	<b>17</b>
1.4.1 <i>Alkalické prostředí.....</i>	<i>17</i>
1.4.2 <i>Pórovitá struktura.....</i>	<i>18</i>
1.4.3 <i>Vznik trhlin od zatížení .....</i>	<i>19</i>
1.4.4 <i>Pracovní diagram .....</i>	<i>20</i>
<b>1.5 ZMĚNA VLASTNOSTI BETONU V ČASE .....</b>	<b>21</b>
1.5.1 <i>Změna pevnosti v čase .....</i>	<i>21</i>
1.5.2 <i>Dotlačování.....</i>	<i>21</i>
1.5.3 <i>Smršňování.....</i>	<i>22</i>
1.5.4 <i>Vliv změn teploty.....</i>	<i>22</i>
1.5.5 <i>Únava materiálu.....</i>	<i>22</i>
1.5.6 <i>Vlivy snižující předpětí .....</i>	<i>23</i>
<b>1.6 VLIVY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>23</b>
1.6.1 <i>Fyzikální vlivy působící na beton.....</i>	<i>23</i>
1.6.1.1 <i>Elektrické napětí.....</i>	<i>23</i>
1.6.1.2 <i>Vysoké teploty.....</i>	<i>23</i>
1.6.1.3 <i>Nízké teploty.....</i>	<i>23</i>
1.6.1.4 <i>Ionizující záření .....</i>	<i>23</i>

## Synopsis and Keywords

The development of concrete structures can be traced back to 19<sup>th</sup> century. The advantage of concrete as a material is that pieces of any shape, required strengths and surface durability can be relatively easily achieved by casting in mold. The knowledge of mechanical properties of concrete, the development of manufacturing procedures and the development of theories has been under development with the increase of concrete production. The durability of concrete is assumed to be almost infinite in most applications. It can be estimated that only in Czech Republic hundreds of million tons of concrete have been applied up to these days. It is mostly of unknown age and quality. The concrete is exposed to the external conditions on the most structures. First research focusing on deterioration of concrete due to long term action of external conditions has been published about forty years ago. Deterioration of concrete progressing from to surface to the core of material. The source of deterioration can be described by complex chemical reactions rising. Certain conditions like humidity and temperature and presence of some aggressive chemicals in air is the source of deterioration. If the thickness of deteriorated layer exceeds cover thickness reinforcement becomes subjected to corrosion. Stresses yielding from bulk changes due to corrosion are causing separation of cover layer of concrete. When assessing existing structure the decision about method of restoration can only be done with sufficient knowledge of level of deterioration. This research is supposed to provide a methodology for efficient of existing concrete structures with respect to economical criteria.

**Keywords:** concrete structure, concrete deterioration, diffuse conductance, concrete carbonation<sup>1)</sup>, concrete sulphation, chloride corrosion, atmospheric corrosion, reinforcement corrosion, diagnostic methods, progress prediction, concrete saving

---

<sup>1)</sup> in USA : carbonatation process

## Anotace a klíčová slova

Rozvoj výroby betonu jako nového stavebního materiálu nastává od druhé poloviny 19. století. Předností je možnost kdekoliv odlévat díly požadovaného tvaru s potřebnou pevností, odolností proti mechanickému poškození a trvanlivostí. S nárůstem výroby betonu postupuje poznávání jeho vlastností, zdokonalování výrobních technologií a vývoj teorií pro návrh betonových konstrukcí. Trvanlivost betonu je uvažována prakticky neomezená. K dnešnímu dni lze odhadnout, že jen v České republice jsou zabudovány stovky milionů tun betonu většinou neznámé kvality a stáří. U většiny konstrukcí je betonová konstrukce přímo vystavená působení vlivů okolního prostředí. Před necelými čtyřiceti lety byly zveřejněny první práce rozebírající poruchy betonových konstrukcí, jejichž příčinou bylo zhoršení vlastností betonu v dlouhodobém procesu, jehož zákonitosti nebyly známy. Zhoršení vlastností betonu se nazývá degradace betonu. Ta postupuje v konstrukci velmi pomalu difúzí od povrchu směrem dovnitř. Příčinou jsou složité chemické reakce, které vznikají při určité vlhkosti a teplotě působením některých agresivních chemických látek určité koncentrace přítomných v ovzduší. Překročí-li hloubka degradované vrstvy tloušťku krytí výztuže, ztrácí výztuž ochranu a začíná rezivět. Pasivační tlaky vznikající korozi výztuže způsobí odloupení povrchové vrstvy betonu. Rozhodnutí o způsobu opravy takto vzniklé poruchy je možné přijmout jen na základě zjištění stadia degradace a rozsahu poškození. Diagnostika poruch tohoto typu tvoří předmět této práce. Výsledků bude možné užít k efektivnějšímu rozhodování o způsobech sanace poškozených betonových konstrukcí při vynaložení jen přiměřených nákladů.

**Klíčová slova:** betonové konstrukce, degradace betonu, difúzní vodivost, karbonatace betonu, sulfatace betonu, chloridová koroze, atmosférická koroze, koroze výztuže, diagnostické metody, predikce vývoje, sanace betonu

## Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity.

V Pardubicích dne 31.08.2009

Ing. Jiří Mareš



Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Katedra mechaniky, materiálu a části strojů

**Diagnostika atmosférické koroze betonových  
konstrukcí dopravních staveb**

Disertační práce

Autor práce: Ing. Jiří Mareš

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Lánský, DrSc.

**2009**