

Využití optických vláken pro měření deformací železobetonových konstrukcí

Využití optických vláken pro měření deformací železobetonových konstrukcí je předmětem tříletého projektu, řešeného za podpory Ministerstva vnitra, jehož výstupem je realizace zkušebního měření odezvy železobetonové konstrukce pomocí nově vyvinutého měřicího systému na bázi optických vláken při použití specifického systému kotvení vlastních senzorů. Cílem je postupně nahrazení původních zabudovaných čidel čidly dodatečně instalovanými. Čidly je sledována odezva konstrukce na působení předpětí, vnitřního tlaku a teploty. Aplikace je v současné době ověřována na železobetonové konstrukci ochranné obálky JE Temelín (typ VVER 1000), kde je zvažována jako náhrada, již na hranici životnosti provozovaných, zabudovaných čidel.

Představení projektu

V roce 2013 zahájilo ÚJV Řež, a. s. ve spolupráci s ÚPT AVČR, v.v.i. a společností NETWORK GROUP, s.r.o. s podporou SÚJB řešení projektu MVČR č. VG2013201524 s názvem Nová metoda měření odezvy konstrukce ochranné obálky pro zajištění bezpečnosti jaderných elektráren i v případě těžkých havárií, který se zabývá zejména vývojem systému pro měření tvarových změn kontejnmentů v JE Temelín. ÚJV Řež, a. s. se v současnosti realizuje údržbou logického celku Kontejnment v JE Temelín. Správa železobetonové konstrukce je nedílnou součástí souboru činností, které zajišťuje. Náplní projektu je tedy logickým pokračováním současných činností, která povede k získání nových informací o chování železobetonové konstrukce kontejnmentu při provozu či specifických testech a tím ke zlepšení informovanosti o stavu konstrukce. Nové informace umožní lépe predikovat vývoj stavu konstrukce a její stárnutí, což vedle ekonomických souvislostí vycházejících ze zpřesnění předpokládané životnosti konstrukce, přispěje k celkově větší bezpečnosti obou kontejnmentů v JE Temelín.

Náplní projektu je Návrh metody optovláknového měření tvarových změn kontejnmentu jaderné elektrárny Temelín. Hlavní úsilí je zaměřeno na metodu přímého měření tvarových změn kontejnmentu, který je posledním bezpečnostním prvkem v případě havárie reaktoru a současně chrání reaktor před vnějšími vlivy, např. pádem letadla. Pro to je žádoucí kontinuálně monitorovat kontejnment, z tvarových odchylek pak predikovat jeho aktuální stav a dokládat, že tento stav odolá maximálnímu plánovanému projektovému zatížení. Měření tvarových změn kontejnmentu vyžaduje využití takových metod, které mohou s dostatečnou přesností a dostatečně detailně popsat celkové i lokální kontrakce a expanze na konstrukci tak, aby bylo možné zjistit jaké příčiny, či vlivy je provází a jaký je význam jednotlivých působících faktorů. Vývoj a výzkum vhodné měřicí metody a její implementace v podmínkách JE Temelín je zaměřen na optovláknové senzory využívající Braggovy mřížky (FBG).

V rámci přípravy a úpravy metody na detekci odraženého signálu z jednotlivých mřížek (senzorů) v optickém kabelu v podmínkách JE, je pozornost zaměřena na odfiltrování parazitních odrazů a odrazů způsobených jinými, než měřicími změnami. Jednou z nejdůležitějších částí tohoto výzkumu je pak samotné umístění optického kabelu se senzory na kontejnment JE, kdy je nutné zajistit maximální dlouhodobou stálost upevnění měřicích sekcí senzorů, dostatečnou ochranu vlákna a mřížek s minimálními důsledky na citlivost a přesnost senzorů. S tím souvisí i oblast projektu řešící otázky dostatečného množství a vhodného rozmístění senzorů na obálkách kontejnmentů. Nedílnou součástí tohoto výzkumu je i samotný návrh a výroba vláknových mřížek v optickém vlákně. Vlákenné mřížky, které dávají senzoru schopnost velmi přesně zjišťovat absolutní vzdálenost vztažených bodů snímače a detekovat její nejmenší změny, jsou zapisovány do optického vlákna osvitěm přes fázovou masku, která v mnohém předurčí budoucí přesnost a chování senzoru. Proto probíhá v rámci projektu návrh a realizace těchto fázových masek. Předpokládáme, že výsledky projektu naleznou uplatnění i v dalších jaderných elektrárnách a jiných inženýrských stavbách.

Průběh a řešení projektu

V počátku řešení projektu byl realizován výběr a návrh implementace experimentálního měření tvarových odchylek kontejnmentu. Návrh měření



Obr. 1 – Senzor II. generace instalovaný na laboratorním stole

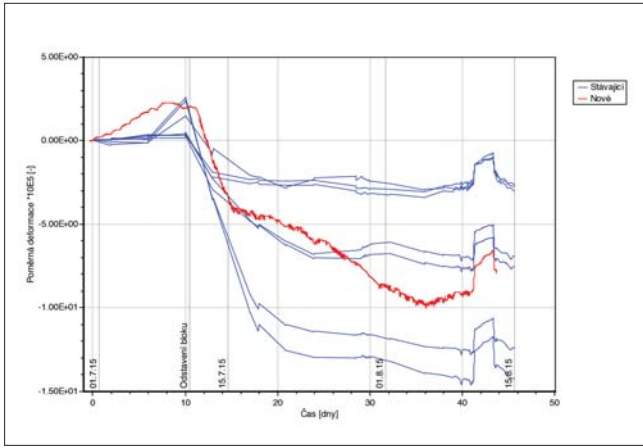


Obr. 2 – Senzory II. generace instalované na 1. výrobním bloku JE Temelín, ve výřezu měřicí aparatury integrovaným PC

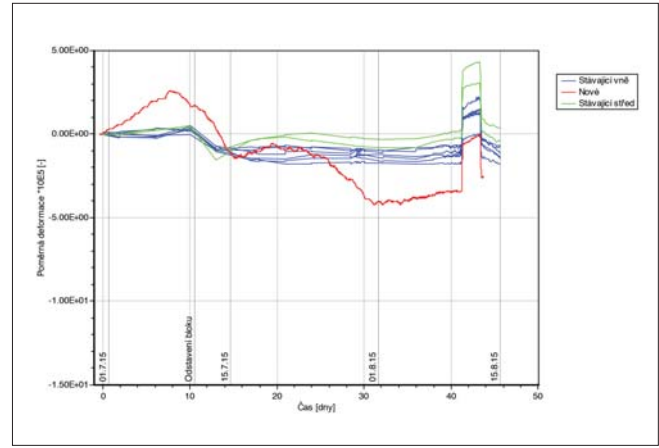
byl rozdělen do dvou částí. První z nich byl návrh konstrukce senzoru, který již umožňuje současné měření teploty a geometrických změn, druhou částí pak byl návrh elektroniky systému vyhodnocování. Na základě průběžných výsledků návrhů senzorů byla připravena metoda měření pro ověření měřicích principů a byla vyvinuta testovací aparatura. Aparatura je v ÚJV Řež, a. s., kde jsou senzory připraveny na železobetonovém nosníku, který je možné při měření definovaně namáhat.

Testovací železobetonové nosníky byly navrženy a připraveny v ÚJV Řež, a. s., ve spolupráci se stavební fakultou ČVUT v Praze. Nosníky byly navrhovány s ohledem na věrnou simulaci železobetonové konstrukce kontejnmentu jaderné elektrárny. V další fázi byly srovnávány různé způsoby povrchových i hloubkových fixací senzorů, kterými se připevňuje senzor k betonovému podkladu tak, aby nedocházelo k prokluzu, či úplnému oddělení senzoru od betonové konstrukce při mezním namáhání. Výzkumem bylo ověřeno, že hloubkové kotvení pomocí šroubů daleko lépe přenáší změny v konstrukci na měřicí systém senzoru. Povrchové chemické kotvení naopak zajišťuje přesnější usazení senzoru na měřeném podkladu. Po rozsáhlých testech jsme proto zvolili optimální kotvení senzoru a současně hloubkové fixace pomocí šroubů. Díky tomuto kotvení dochází jak k optimálnímu přenosu měřených optických změn, tak optimálnímu uložení senzoru, čímž je dosaženo maximální možné přesnosti měření.

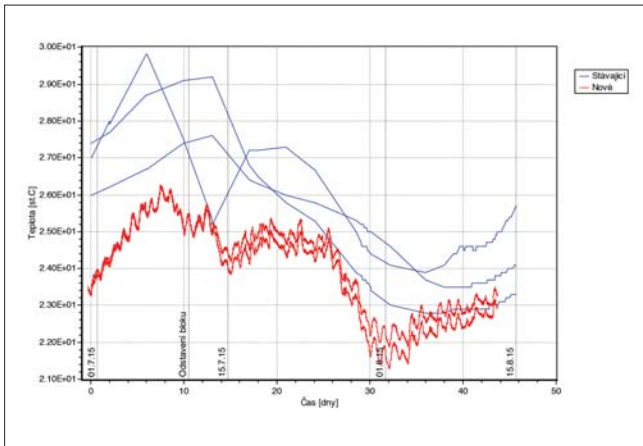
Podle provedené série měření je zřejmé, že vyvinutý způsob uchycení je plně funkční a podává plně reprodukovatelné výsledky. Zjevně nedochází k žádnému uvolňování ani parazitním tvarovým změnám v podkladu vlivem senzoru a jeho fixace. Podařilo se nám tak vyvinout technologii, které by měla nejlépe přenášet vnitřní změny rozměrů na povrch kontejnmentu. V současnosti probíhají její poslední testy a příprava užitého vzoru.



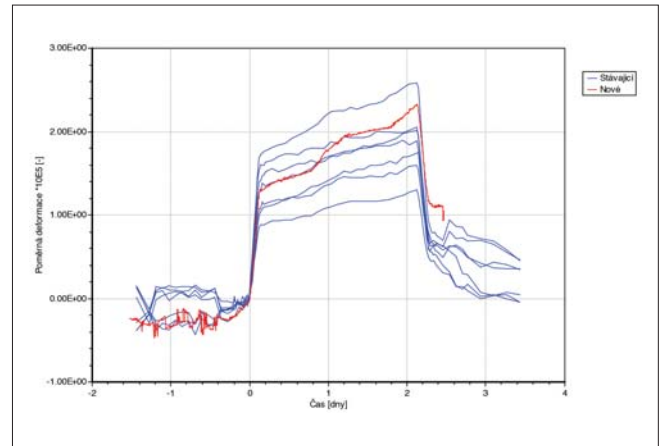
Obr. 3 – Historie měření deformací ve svislém směru



Obr. 4 – Historie měření deformací ve vodorovném směru



Obr. 5 – Historie měření teplot



Obr. 6 – Historie měření deformací při tlakové zkoušce ve svislém směru

Výsledky této práce jsou zásadní pro budoucí dlouhodobé stabilní měření s minimalizací nežádoucích vlivů ohybových momentů, delaminace povrchu betonu a dalších vlivů na měřenou veličinu – relativní deformaci předepjaté železobetonové konstrukce.

Přínosy a perspektiva projektu

Dosavadní výsledky získané při řešení projektu potvrzují vhodnost využití zvolené metody pro monitorování stavu kontejnmentů v JE Temelín. Hlavní a největší budoucí přínos projektu je v zajištění vyšší míry bezpečnosti JE Temelín. Potencionálně přesnějším monitorováním tvarových změn kontejnmentů bude možné získat klíčové informace, které umožní lépe predikovat stav a případné změny této železobetonové konstrukce. Očekáváme, že měřená data zajistí přesnější modelaci krizových situací a umožní předjetí potenciálním problémům v případě havárie. V neposlední řadě předpokládáme využití získaných informací k přesnějšímu určení stavu kontejnmentů a věrnější predikci jejich životnosti.

Realizované ověřovací měření

V průběhu června roku 2015 byla na kontejnment JE Temelín – na 1. Hlavní výrobní blok instalovány dva senzory II. generace, obr. 1 a obr. 2. Senzory byly instalovány do bezmomentové oblasti válce v místnostech obestavby

na podlaží +33,60 m. Vlastní ověřovací měření bylo spuštěno 1. července, tj. 14 dní před plánovanou odstávkou výrobního bloku s následujícím harmonogramem:

- 14denní provoz hlavního výrobního bloku s následným přechodem do odstávkového režimu.
- Měření v době odstávky, včetně periodické zkoušky integrity kontejnmentu, kdy cílem je zaznamenat změny měření senzorů při změně geometrie konstrukce ochranné obálky v důsledku působení vnitřního přetlaku.
- Měření za zvýšené teploty okolního prostředí, kdy cílem měření je ověřit stabilitu měření při změně teploty okolního prostředí.
- Měření dlouhodobých změn deformací, kdy cílem měření je ověřit schopnost čidel měřit malé přírůstky deformací ochranné obálky od dotvarování betonu zejména s ohledem na dlouhodobou stabilitu měření. V současné době je možné prezentovat dílčí výsledky prvních dvou etap měření.

Dosažené dílčí výsledky ověřovacího měření

Průběh dosavadního měření deformací ve vodorovném a svislém směru je vykreslen na obr. 3 a obr. 4 vykreslené hodnoty odpovídají relativní změně deformace k začátku ověřovacího měření. Na obr. 5 je pak vykreslen průběh teplot za stejné časové období. Nově instalovaná čidla nejsou z důvodu omezení přístupu k povrchu kontejnmentu umístěna v blízkosti

žádného stávajícího čidla. Protože jsou rozdíly v lokálních deformacích konstrukce, jsou pro porovnání vykresleny průběhy všech stávajících čidel umístěných na stejné výškové úrovni a měřících deformací ve stejném směru. V případě teplot měří stávající čidla teplotu konstrukce v hloubce cca 100 mm od vnějšího povrchu (čidla jsou zabetonována), nová čidla měří teplotu vzduchu v blízkosti vnějšího povrchu.

Z průběhu naměřených deformací je patrné, že nová čidla reagují v porovnání se stávajícími čidly živěji na změny deformací konstrukce při změně teplot. Hodnoty měřené čidlem měřící deformace ve svislém směru se pohybuje mezi hodnotami měřenými stávajícími čidly, je dobře patrný vliv poklesu teploty konstrukce po odstavení bloku. Ve vodorovném směru je oproti svislému směru změna deformací konstrukce po odstavení bloku

celkově menší. Nové čidlo ukazuje vyšší změny hodnot deformací v porovnání se stávajícími čidly – mimo stávajících čidel umístěných u vnějšího povrchu stěny je pro porovnání vykreslen i průběh deformací měřených stávajícími čidly uprostřed stěny.

Změna deformací konstrukce ve svislém směru při tlakové zkoušce je vykreslena na obr. 6 deformace jsou relativní vzhledem k začátku tlakování kontejnmentu. Z důvodu změny teplot konstrukce docházelo v průběhu zkoušky k nárůstu deformací konstrukce, samotný

působící tlak byl v průběhu zkoušky konstantní. Ve svislém směru se hodnoty měřené novým čidlem pohybují mezi hodnotami měřenými stávajícími čidly, stejně jako u dlouhodobého měření. Ve vodorovném směru se hodnoty měřené novým čidlem pohybují na horní hranici hodnot měřených stávajícími čidly ale pod hodnotami měřenými stávajícími čidly ve středu stěny. Z dosud naměřených hodnot deformací lze usuzovat, že hodnoty měřených deformací novými čidly odpovídají skutečným změnám deformací konstrukce v místě instalace čidel.

Pokud se vezme v úvahu, že se měří velmi malé změny deformace masivní betonové konstrukce, kde stávající čidla ukazují z hlediska velikosti měřených hodnot významné rozdíly mezi různými místy měření, tak lze považovat shodu mezi měřením stávajícími a novými čidly jako velmi dobrou. Porovnání průběhu teplot na obr. 6 ukazuje, že nová čidla reagují na změnu teploty konstrukce, nikoliv na pouhou změnu teploty v okolí čidla – ověření teplotní kompenzace bude ale hlavním cílem následující etapy ověřovacího měření. Poslední etapou pak bude

ověření dlouhodobé stability měření po dobu jednoho roku.

Literatura

- [1] Körbler Jan, Šik Antonín, Vomáčka Petr, Bulák Ján. (2015): Nová metoda měření odezvy konstrukce ochranné obálky pro zajištění bezpečnosti JE i v případě těžkých havárií.

Antonín Šik, Ing. Petr Vomáčka, ÚJV Řež, a. s.

Using of optical fibers for measurement of reinforced concrete structure deformation

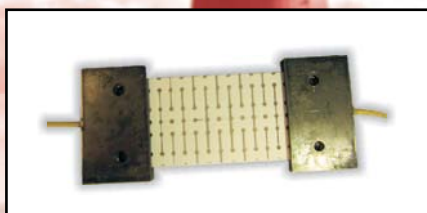
Application of optical fibers for measurement of deformation of reinforced concrete structures is a goal of a three year project funded by Ministry of the Interior of the Czech Republic. An expected result of the project is a trial measurement of reinforced concrete structure response using a developed measurement system based on optical fibers together with modified sensor fixing system. The goal of the project is a rolling replacement of original sensors by new additional sensors. Both types of sensors monitor structure response toward pre-stressing, internal pressure and temperature. The measurements system is applied at reinforced steel containment of NPP Temelin (type VVER 1000) as proposed replacement of the original sensors, which are at the end of their life.

Использование оптических волокон для измерения деформаций железобетонных конструкций

Использование оптических волокон для измерения деформации железобетонных конструкций является предметом трехлетнего проекта, решение которого осуществляется при поддержке Министерства внутренних дел, результатом которого является осуществление пробного измерения отклика железобетонной конструкции с помощью недавно разработанной системы измерения на основе оптических волокон с использованием специфической системы крепления собственных датчиков. Целью является постепенное замещение исходных встроенных датчиков дополнительно установленными датчиками. Датчики контролируют реакцию конструкции на действие напряжения смещения, внутреннего давления и температуры. Применение в настоящее время проверяется на железобетонной конструкции защитной оболочки АЭС Темелин (тип ВВЕР 1000), у которой рассматривается как заменитель встроенных датчиков, которые уже достигли предела срока своей службы.

OD NÁVRHU KONSTRUKCE SENZORU AŽ PO KONKRÉTNÍ APLIKACI

NETWORK
group



- Realizace optických senzorických systémů založených na vláknových mřížkách a Fabry-Perotových rezonátorech
- Senzorické systémy pro průmyslové aplikace - energetika, stavebnictví, doprava, letecký průmysl, a další
- Možnost měření tahu, tlaku, teploty, vibrací a dalších veličin
- Pasivní senzory bez elektrického napájení, nevýbušné
- Zakázková výroba částí senzorů, kompletních senzorů i kompletních senzorických systémů
- Netečnost k EMI, odolnost k radiaci, vysokým teplotám, vůči vodě a agresivitě prostředí
- Vývoj elektronických bloků, osazování DPS
- Vývoj systémů na míru dle konkrétních požadavků zákazníka