

Výměna kotevních lan stožáru Králova hoľa

Králova hoľa je jedním z nejkrásnějších vrcholů Nízkých Tater. Poblíž vrcholu v nadmořské výšce 1 946 m n. m. stojí kotvený stožár (obr. 1) výšky 136 m. Pokrývá televizním a rozhlasovým signálem přibližně čtvrtinu území Slovenska. Je postaven v místě extrémních klimatických podmínek – vysokých rychlostí větru a silné námrazy. Článek popisuje výměnu kotevních lan stožáru po dosažení jejich plánované životnosti.

POPIS STOŽÁRU

Stožár je tvořen rourovým dříkem kotveným ocelovými lany ve dvou výškových úrovních. Vnitřní průměr rourového dříku je 2 800 mm až do výškové úrovně +111,95 m. Nad touto úrovní je 2,5 m vysoký kónický díl a nad ním laminátový nástavec průměru 1 600 mm a výšky 19,4 m.



Obr. 1 – Kotvený stožár Králova hoľa.

PROJEKT A STAVBA STOŽÁRU

Projektant stožáru (1968):	J. Kozák, Martinček, Vítkovické železářny, n.p., Bratislava
PŘEKOTVENÍ (2025)	
Investor:	TOWERCOM
Dozor investora:	Milan Dzurčanin, Peter Šejirman
Projektant překotvení stožáru, montážní postupy:	EXCON – Jiří Lahodný, Petra Srbová
Kotevní lana:	Redaelli prostřednictvím Tension systems
Realizace překotvení:	EXCON, Allmont Steel – Jiří Procházka

Protože laminát neruší vysílání jako jiné konstrukční materiály, slouží jako nosič a zároveň kryt antén. Z důvodu časté silné námrazy na Královej hoľi jsou rovněž antény rozhlasového vysílání umístěné na dříku mezi úrovněmi +50,1 a +68,6 m kryty laminátovým válcem.

Dřík stožáru je v patě vetknutý do základového bloku. Je kotven do tří směrů v úrovních +43,0 a +110,5 m. Lana každého směru jsou kotvena do jednoho kotevního bloku. Původní i nová lana obou kotevních úrovní jsou jednopramenná vinutá z pozinkovaných drátů uzavřené konstrukce o průměru 60 mm (obr. 2). Lana jsou zakončena zalévanými koncovkami s čepem.

Na dolním konci lan je napínací zařízení kotveno do základového bloku přes spojku s čepy umožňující natáčení ve vswislém i vodorovném směru. Obdobně, s možností natáčení ve vswislém i vodorovném směru, jsou lana kotvena na těleso stožáru (obr. 3).

Ve vrcholu laminátového nástavce je instalován kyvadlový pohlcovač kmitů. Pohlcovač tlumí kmitání vyvolané odtrháváním vírů na válcovém tělese stožáru.

Uvnitř dříku je výtah, žebříky a vnitřní plošiny. Na dříku stožáru jsou tři vnější ochozy v úrovních +29,36 m, +40,24 m a +106,0 m a žebříky umožňující přístup k anténám.



Obr. 2 – Řez původním kotevním lanem.



Obr. 3 – Přikotvení lana k dříku (nové).

HISTORIE

Stožár byl postaven v roce 1971. Součástí vysílače byla původně i vyhlídková kabina v úrovni +30 m přístupná po vnějším točitém schodišti, která byla později demontována.

V roce 1994 (po 23 letech) byla provedena první výměna kotevních lan. V roce 1998 byla mezi úrovněmi +50,1 a +68,6 m instalována konstrukce a laminátový kryt pro anténní systém VKV2.

Současná výměna lan (2025) byla provedena 31 let po předchozí výměně.

ROZSAH PRACÍ

Kotevní lana

Důvodem výměny kotevních lan bylo dosažení jejich projektované životnosti. Životnost kotevních lan omezuji dva zásadní faktory.

Lana jsou vystavena dynamickým účinkům, zejména při jevech aerodynamické a aeroelastické nestability, jako je odtrhávání víru nebo galloping. Počty cyklů mohou dosahovat vysokých hodnot a rovněž rozkmity napětí mohou být významné.

Druhým významným faktorem je koroze. Korozní poškození vnitřních drátů lze velmi obtížně diagnostikovat, zejména v místě jejich vstupu do koncovky.

Kotevní prvky

Stejně jako kotevní lana jsou namáhány jejich kotevní prvky. Únava materiálu kotevních prvků je podobně častým jevem jako poškození samotného lana. Příkladem je porušení kotevního plechu a následná havárie stožáru Krašov v roce 1979 [1].

Součástí prací byla proto rovněž náhrada vyměnitelných kotevních prvků.

Nevyměnitelné kotevní prvky, tj. plechy svařené s tělesem dříku a prvky zabetonované v základovém bloku, byly kontrolovány pomocí NDT metod pro ověření výskytu únavových trhlin.

Napínací zařízení

Na rozdíl od původního řešení (obr. 4) byly kotevní prvky na dolních koncích lan doplněny stálým napínacím zařízením. Napínací zařízení (obr. 5) je složeno ze závitových tyčí a příčníků. Lano se napíná prostřednictvím dutých hydraulických válců umístěných na horním příčníku.



Obr. 4 – Původní zařízení pro napínání a ukotvení lan.



Obr. 5 – Nové napínací zařízení s osazenými hydraulickými lisy.

Napínací zařízení umožňuje pravidelně kontrolovat a upravovat síly v kotevních lanech současně se svislostí a přímostí dřívku. Relaxace a ztráta předpětí je přirozená vlastnost ocelových lan. Stálé napínací zařízení snižuje náklady budoucích rektifikací stožárů.

ZMĚNA PŘEDPĚTÍ KOTEVNÍCH LAN

Náhylnost lan ke kmitání závisí na řadě faktorů, například na míře předepnutí lana, jeho délce a tvorbě námrazy. Zatímco v jiných lokalitách lze pro omezení kmitání použít tlumiče kmitů, v této lokalitě není vzhledem k četnosti a velikostem námrazy jejich spolehlivý provoz reálný.

Ze zkušeností z provozu kotvených stožárů vychází doporučení volit hodnoty předpětí pod 10 % charakteristické síly při přetržení (viz [2]). Původní projekt stanovil hodnoty předpětí lan hodnotami 400 kN pro horní lana (odpovídá napětí 163 MPa), resp. 500 kN (napětí 204 MPa) pro lana dolní.

Protože hodnota předpětí dolních lan je vyšší než uvedené doporučení, bylo součástí přípravných prací posouzení, zda lze předpětí snížit na doporučenou úroveň při zachování spolehlivosti konstrukce.

Při hodnocení kmitání lan existujících konstrukcí je důležitým vodítkem chování stávajících lan. V případě Králové hole nebylo významné kmitání lan pozorováno. Zároveň ale byly v původních laních naměřeny nižší hodnoty oproti teoretickým.

S ohledem na vyhovující dynamické chování původních lan, doporučeným hodnotám předpětí a výsledkům statického výpočtu bylo zvoleno předpětí horních i dolních kotevních lan 400 kN (163 MPa).

STATICKÝ VÝPOČET, KLIMATICKÁ ZATÍŽENÍ

Výpočty byly provedeny dle norem soustavy STN EN, zejména [2, 3]. Ekvivalentní nelineární statické výpočty pro určení celkové odezvy konstrukce byly řešeny softwarem STOZAR (autor Janata) a vlastními výpočetními procedurami (autor Lahodný) v softwaru Matlab. Automatizace výpočtů umožnila získávat výsledky v relativně krátkém čase, což je výhodné pro hledání optimálního výsledného předpětí lan i optimálních sil v lanech při jednotlivých montážních stavech.

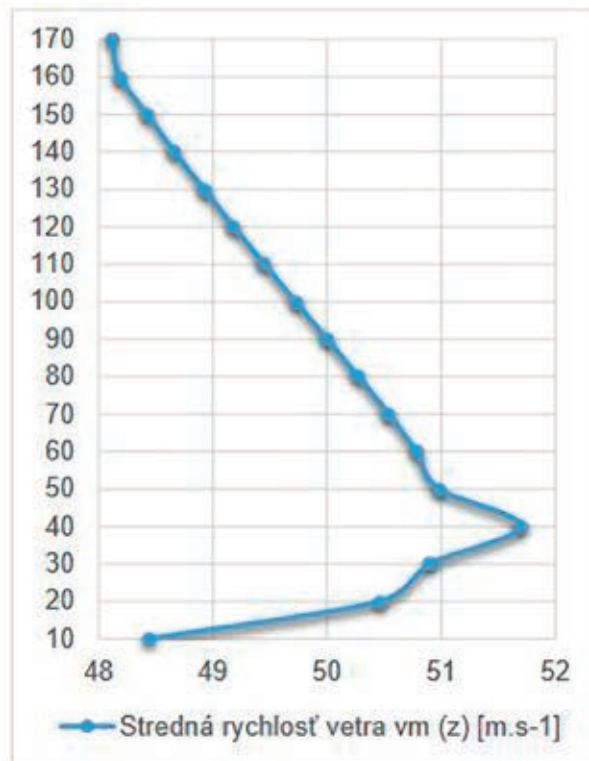
Výpočty sestávaly ze dvou částí, první byl návrh a posouzení montážních stavů při výměně lan. Montážní stavy byly navrženy tak, aby konstrukce odolala zatížení větrem dle doporučení normy STN EN 1991-1-6 [4], v tomto případě na základní střední rychlost větru 28,2 m/s s výjimkou kroků s krátkou předpokládanou dobou trvání (do tří dnů), pro které byla zvolena základní rychlost větru 25,6 m/s.

Druhou částí výpočtů bylo ověření vhodnosti změny předpětí lan a určení jeho optimálních hodnot. Tyto výpočty byly řešeny pro maximální klimatická zatížení. Pro stanovení maximálních klimatických zatížení odpovídajících metodice aktuálních evropských norem jsme oslovili Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ).

Základní rychlost větru byla určena s využitím dat meteorologické stanice Chopok. Na Králové hoši lze očekávat podobné klimatické podmínky. Současně byly provedeny výpočty pomocí softwaru WAsP Engineering 2.0 pro určení vlivu orografie přímo pro lokalitu Králova hoša. Výsledkem byl profil střední

rychlosti větru (obr. 6) a intenzity turbulence po výšce konstrukce. Základní rychlost větru ve výšce 10 m nad terénem byla určena 48 m/s. Výškový profil rychlosti větru je silně ovlivněn tvarem horského hřebenu, jak je patrné na obr. 6. Maximální účinek větru je v úrovni +40 m nad terénem a s narůstající výškou nad hřebenem se rychlost proudění opět snižuje.

SHMÚ dále poskytl data o tloušťkách námrazy. Byla využita data meteorologické stanice Chopok. Ze zprávy například vyplývá, že námraza o průměru 60–70 cm je poměrně běžná a extrémně se vyskytuje námraza o průměru 130 cm. Fotografie namrzlé konstrukce viz obr. 7 a 8.



Obr. 6 – Profil střední rychlosti větru dle analýzy SHMÚ, P. Borsányi.



Obr. 7 – Namrzlé kotvení lan.



Obr. 8 – Stožár Králova hoľa s námrazou.

Data o námraze na Chopku jsou známa v úrovni blízko terénu. Nárůst tlouštěk námrazy s výškou není znám. Pro statický výpočet stožáru byly využity předpoklady vyplývající z normy pro zatížení námrazou ISO 12494 [5]. Ve výpočtu byly rovněž uvažovány stavy s nerovnoměrným zatížením kotevních lan, které vznikají při odpadnutí námrazy z jednoho nebo více lan, zatímco další lana zůstávají obalena námrazou.

Statický výpočet potvrdil přibližně shodnou únosnost konstrukce po snížení předpětí dolních lan ve srovnání s původním

teoretickým projektovaným stavem. Lze předpokládat, že snížení předpětí má příznivý vliv na dynamické chování lana, snížení jeho únavového namáhání a zvýšení jeho životnosti a spolehlivosti.

VÝMĚNA LAN

Pro povolování stávajících lan, instalaci provizorního lana, výměny a dopínání lan byl zpracován podrobný postup. Výměna všech lan proběhla celkem ve 12 základních krocích. Pro každý krok byly předepsány předpínací síly v jednotlivých lanech a byla ověřena únosnost a spolehlivost konstrukce.

Nejprve byly nad nejvyšší kotevní úroveň osazeny konzoly s kladkami do jednotlivých kotevních směrů (obr. 9) a převodové kladky pro převod montážního zdvihového lana mezi jednotlivými směry. Montážní práce probíhaly pomocí tří vrátek. Hlavní vrátek zdvihového lana je určen pro spuštění stávajících a zdvih nových kotevních lan (obr. 10). Zdvihové lano bylo vedeno přes převáděcí kladku v blízkosti paty stožáru na kladky nad 2. kotevní úrovní tak, aby dřík stožáru byl při zdvihu břemen zatěžován co nejmenší vodorovnou silou.

Tzv. odtahový vrátek je určen k zajišťování dostatečné vzdálenosti zdvihových břemen od dříku stožáru, antén a ochozů (obr. 10). Třetí vrátek sloužil k dotahům lan ke kotevním blokům a manipulaci s provizorní lanovou kotvou.

Lana byla měněna postupně v každém kotevním směru od shora dolů. Před výměnou lan byly sníženy předpínací síly ve všech lanech. Následně byla osazena dvojice provizorních lan do směru měněného lana (obr. 11). Po plynulém povolování starého lana a dopínání lana provizorního bylo staré lano odpojeno z napínacího zařízení (obr. 12) a horní konec spuštěn dolů pomocí zdvihového a odtahového vrátku. Na betonový kotevní blok bylo namontováno nové napínací zařízení. Následně byl vyzdvižen horní konec nového lana a začepován do kardanové spojky u dříku stožáru. Poté byl dolní konec lana dotahován k napínacímu zařízení kladkostrojem dotahového vrátku současně s povolováním provizorního lana (obr. 13). Po zapojení dolního konce lana do nového napínacího zařízení bylo lano odpojeno z dotahového vrátku a všechna tři kotevní lana dané



Obr. 9 – Montážní kladky nad 2. kotevní úrovní.



Obr. 10 – Zdvihový a odtahový vrátek.



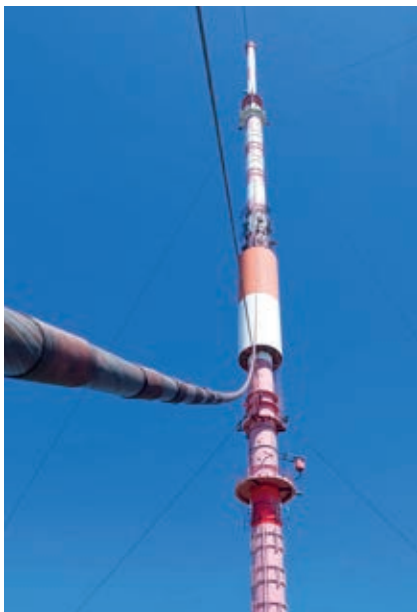
Obr. 11 – Montáž provizorní kotvy.



Obr. 12 – Provizorní kotva, povolení stávajícího lana.

kotevní úrovně byla napnuta hydraulickými lisami na síly předepsané pro daný montážní krok. Síly v lanech byly měřeny zkalibrovanými hydraulickými lisami převodem z tlaku měřeného ve válcích. Při montážních krocích byla kontrolována svislost dřívku dvěma teodolity v kolmých směrech.

Uvedený postup byl opakován pro všechna lana. Po dokončení výměny lan byla provedena rektifikace stožáru, tedy doladění sil ve všech lanech na předepsané hodnoty, a zároveň finální dorovnání dřívku stožáru do svislosti a přímosti.



Obr. 13 – Výměna horního lana.

ZÁVĚR

Výměna lan kotveného stožáru je vždy náročnou operací. Výměna lan na Kráľovej hoľi byla umocněna náhlými změnami počasí a viditelnosti, ale i krásnými výhledy na panorama Vysokých Tater. Montáž včetně přípravných prací probíhala od června do srpna 2025. Pro úspěšně dokončenou výměnu kotevních lan kotveného stožáru vysílače Kráľova hoľa jsme využili cenné zkušenosti z obdobných realizací v minulých letech.

PODĚKOVÁNÍ

Maximální klimatická zatížení na Kráľovej hoľi byla stanovena Slovenským hydrometeorologickým ústavem, oborem Meteorologická služba Banská Bystrica. Analýzu zpracoval Ing. Peter Borsányi.

Autoři:

Ing. Jiří Lahodný, Ph.D., vedoucí projektant ve společnosti Excon, specializuje se na projekty dynamicky namáhaných konstrukcí, zejména vetknutých a kotvených stožárů. Je členem pracovních skupin CEN pro vývoj nové generace Eurokódů „Evolution of EN1993-3“ a „Ad-hoc group for towers, masts and chimneys“.

Ing. Vladimír Janata, CSc., působí jako senior projektant a odborný garant ve společnosti EXCON, kterou v roce 1990 s kolegy založil. Ve své praxi se věnuje projektům stožárů, sportovních hal, mostů, lávek pro pěší a dalších ocelových konstrukcí.

Jiří Procházka pracuje na pozici vedoucího realizace stožárů, montáží pomocí horolezecké techniky a manažera technické kontroly ve firmě EXCON.

LITERATURA:

- [1] Pirner M., Fischer O.: Dynamika ve stavební praxi, IC ČKAIT, 2010
- [2] STN EN 1993-3-1 Eurokód 3. Navrhovanie ocelových konštrukcií. Časť 3-1: Veže, stožare a komíny. Veže a stožiare, 2007
- [3] STN EN 1993-3-2 Eurokód 3. Navrhovanie ocelových konštrukcií. Časť 3-2: Veže, stožare a komíny. Komíny, 2008
- [4] STN EN 1991-1-6 Eurokód 1: Zataženia konštrukcií. Časť 1-6: Všeobecné zataženia. Zataženia počas výstavby, 2008
- [5] ISO 12494 Zatiženie konštrukcií námrazou, 04/2010