



AUTORIZOVANÝ SOFTWARE TUNNELCOND PRO VÝPO ET ZKONDENZOVANÉ PÁRY (KONDENZÁTU) V TUNELECH

Zpracovali: Doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D., doc. Dr. Ing. Jan Pruška, prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

Autorizovaný software TunnelCond umožňuje výpočet z kondenzované vodní páry z proudění vzduchu uvnitř tunelu. Software se skládá ze dvou částí: simulace 2D nestacionární úlohy vedení tepla na stěnách tunelu a xls souboru pro výpočet bilance vodní páry.

2D simulace nestacionární úlohy vedení tepla v balíku OOFEM umožňuje uvažovat libovolné podmínky a okrajové podmínky úlohy. Výsledkem je pole teplot v zemi /hornině a na stěně tunelu. Pokud se teplota na stěně tunelu dostane pod teplotu rosného bodu, nastane kondenzace. Samotné množství kondenzátu se vypočte ze zadaných teplot a relativních vlhkostí vzduchu na začátku a konci tunelu a ze zadané maximální rychlosti proudění vzduchu.

TunnelCond je ukázán na tunelu Blanka, kdy se vypočítá množství kondenzátu během roku. Z analýzy vyplynulo, že červenec a srpen jsou kritické měsíce, kdy teplota na stěně tunelu je pod rosným bodem vzduchu a množství kondenzátu dosahuje hodnot až 22 m³/den při průměrném traném tunelu.

Oblast použití

Software vznikl na základě požadavků tunelářů, kteří se s problémem kondenzace potýkají při stavbě nových tunelů, nízkém vnitřním provozu a teplých letních měsících. Protože celkové přírůstky jsou často v požadavcích investora na vodotěsnost, jde o určitou míru, jak se na množství přebytečné vody projevuje kondenzace.

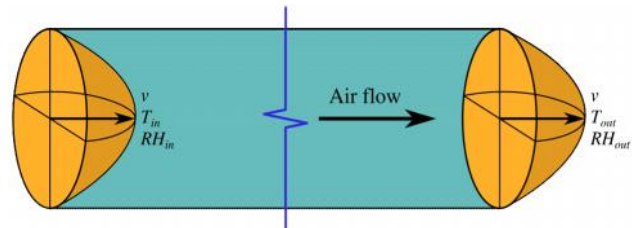
Software se dá využít v jednoduchém módu, kdy se provede pouze bilance vodní páry na vstupu a výstupu a z rozdílu se určí množství kondenzátu. Rozšířená úloha umožňuje zapsat vstup tepla a oteplování stěny tunelu vlivem proudícího vzduchu a výsledky zpřesnit.

Metodika a postup řešení

Nestacionární 2D výpočet vedení tepla probíhá v softwaru OOFEM 2.4 dev [1] na dané geometrii, okrajové podmínky jsou zadány ve formě prouhu

teplot, teplot vnitřního vzduchu. Dále jsou zadány podmínky. Výsledkem je pole teplot v zemi /hornině a na povrchu stěny tunelu. Doprovodný xls soubor je založen na bilanci vodní páry dle rovnic níže a Obr. 1. Množství kondenzátu odpovídá rozdílu na vstupu/výstupu a rychlosti proudění vzduchu.

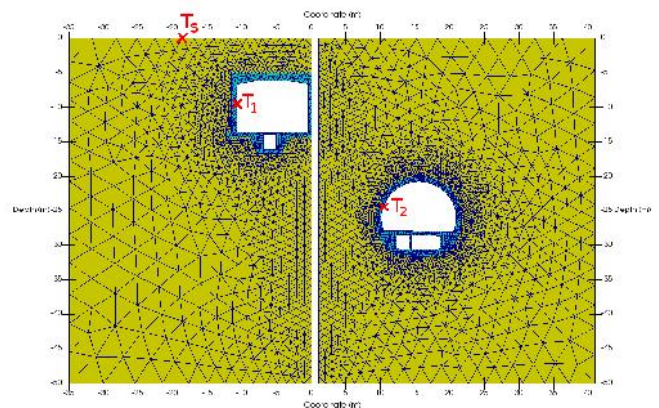
$$p_s [\text{Pa}] = 610 \cdot \exp\left(\frac{T}{T + 238.3} \cdot 17.2694\right), T [^{\circ}\text{C}]$$
$$p = RH \cdot p_s, p_s [\text{Pa}]$$
$$m_w [\text{kg}/\text{m}^3] = 0.002166 \frac{p}{T + 273.16}, T [^{\circ}\text{C}]$$



Obr. 1. Výpočet a bilance v xls souboru

Výsledky

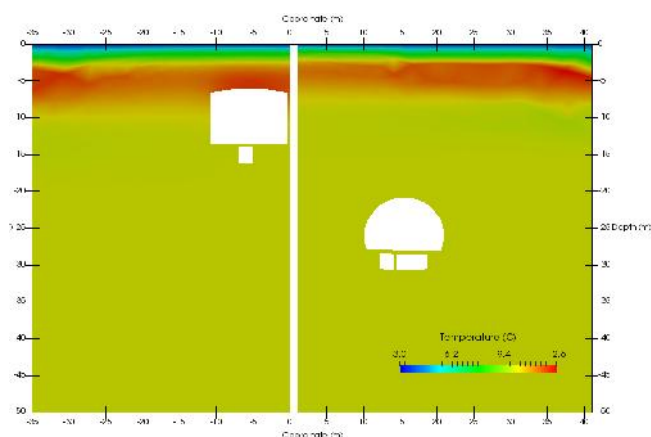
Modelový výpočet kondenzace probíhá hluboko na tunelu Blanka. Uvažovaly se dva přírůstky pro hloubenou část (3,68 km JTT, Pražský most) a raženou část (6,83 km STT, Císařský ostrov), viz Obr. 2.



Obr. 2. Přírůstky tunelu Blanka

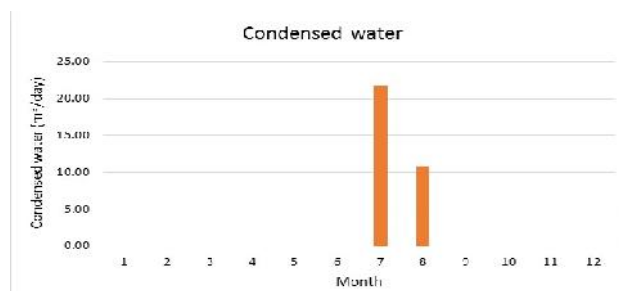
Výsledek teplot pro traný tunel je na Obr. 3 v období 53 týdnů, tj. na konci roku 2014. Z obrázku je zřejmé, že teplota se mění do hloubky cca 7 metrů,

dále z stává konstantní okolo 10°C. Teploty vzduchu na povrchu pochází z roku 2014 pro stanici Praha-Karlov [2].



Obr. 3. Teplotní pole na konci roku 2014

Pro bilanci vlhkosti byly použity teploty vzduchu na vstupu tunelu, odhadnutá rychlost proudění vzduchu a odhadnuté výstupní teploty a vlhkosti vzduchu. Množství kondenzátu je na Obr. 4. V tomto případě se uvažoval málo v traný tunel, kdy teplota ost ní byla 11°C a do tunelu se pustil vn jší vzduch. Kondenzace nastala v m sících ervenec a srpen, kde se teploty vzduchu pohybují okolo 20°C a relativní vlhkost okolo 70 %. Tím dojde k p ekro ení teploty rosného bodu a ke kondenzaci.



Obr. 4. Množství kondenzátu v jednotlivých měsících roku 2014

Záv r

Software TunnelCond je použitelný pro velkou variabilitu úloh s kondenzací vodní páry. P esnost ešení závisí na dostupnosti teplot a vlhkostí, které vchází a vychází z tunelu. Pro nejjednodušší p ípady lze použít samostatn xlsx soubor, pro p esn jší použití lze ešit teplotu ost ní pomocí úlohy nestacionárního vedení tepla.

Literatura

- [1] <http://www.oofem.org>
- [2] <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>
- [3] <http://www.cesti.cz/index.php?page=sw>