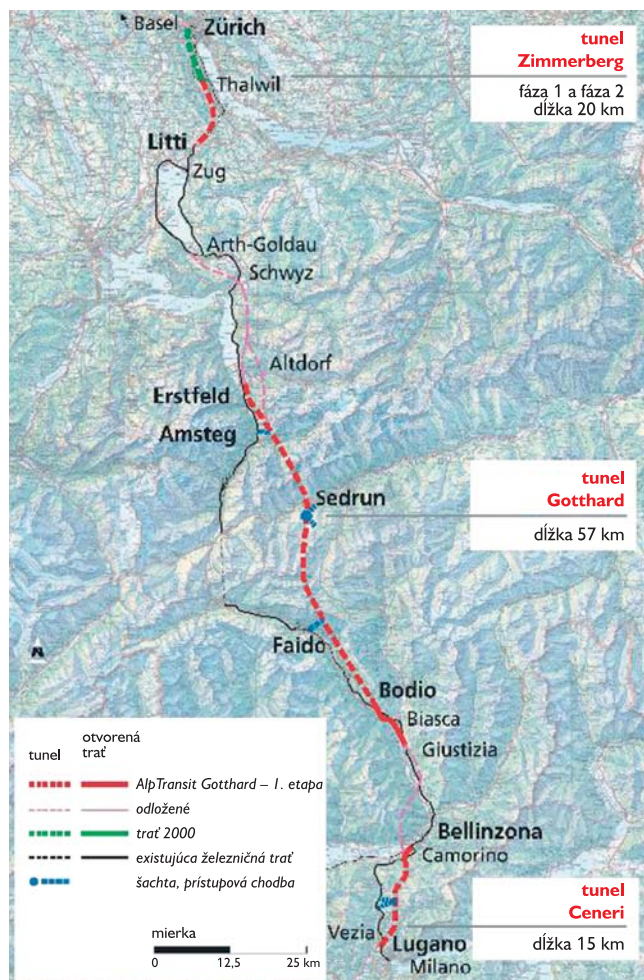




Ventilačný systém pre najdlhší železničný tunel sveta

Po otvorení v roku 2016 bude 57 km dlhý tunel Gotthard jednou z dôležitých vetiev európskej železničnej siete spájajúcej sever a juh švajčiarskych Álp a zároveň reduktujúcej čas potrebný na cestovanie z Zürichu do Milána z 3,5 na 2,5 hodiny. Spomedzi skupín podieľajúcich sa na výstavbe južnej časti je spoločnosť Pöyry Infra AG zodpovedná za návrh ventilačného systému. Nasledujúci článok opisuje, ako sa pri návrhu využívali modely dynamiky tekutín v prostredí softvérového nástroja Matlab na určenie prevádzky systému v bežných podmienkach, v čase údržby a v stavoch pohotovosti.

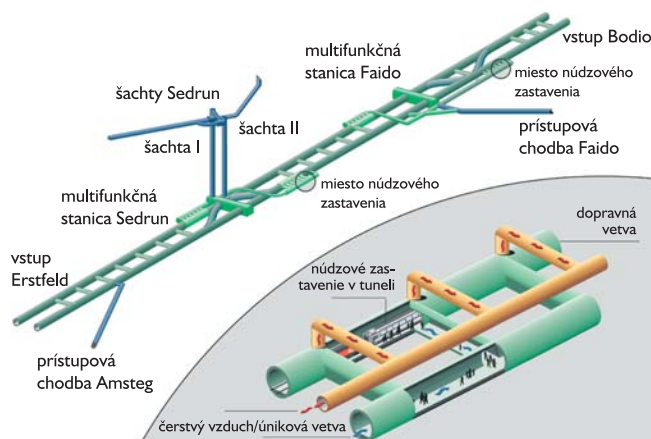
Tunel Gotthard je súčasťou projektu Swiss AlpTransit, známeho takisto ako nového železničného spojenia cez Alpy, ktorý zahŕňa aj tunel Lötschberg. Do 1. júla sa vyhlúbilo takmer 74 % celkovej dĺžky. Cieľom projektu je vybudovať priamu trasu pre vysokorychlostné, ako aj ťažké nákladné vlaky.



Obr.1 Projekt AlpTransit

Tunel Gotthard

Tunel Gotthard tvoria dve jednokolajné tunelové vetvy, ktorých výstavba, rovnako ako výstavba priečných spojok medzi nimi a viacúčelových staníc momentálne prebieha naplno. Tunely sú od seba vzdialené okolo 40 metrov a navzájom sú prepájané vo vzdialenosti 325 metrov. Dve dvojité kolajové spojky umožňujú prechádzanie z tunela do tunela, napríklad pri vykonávaní údržby alebo pri nehode. Prejazd bude možný v multifunkčných staniciach Sedrun a Faido. Stanice majú ventilačné zariadenia, technickú infraštruktúru a signalizačný systém. Cez samostatné prístupové tunely sú na ne napojené i dve stanice na núdzové zastavenie, kde môžu pri evakuácii cestujúci vystúpiť.



Obr.2 Schéma systému tunela Gotthard

Ventilačný systém tunela Gotthard musí poskytovať komfortné pracovné podmienky pre personál údržby a tiež umožniť bezpečnú evakuáciu v prípade stavu núdze. Ak v niektorej z tunelových vetiev vypukne požiar, ventilačný systém musí zvýšiť tlak vzduchu v nepostihnutej vetve natoľko, aby do nej zabránil prieniku dymu. Ľudia nachádzajúci sa vo vetve zachvátenej ohňom sa presunú do susednej vetvy, a to cez pohotovostné stanice na jednej z multifunkčných staníc alebo cez priečne spojky. Jedna z výziev pri návrhu bola, že prídavné šachty v lokalite Sedrun a Faido majú duálnu úlohu. Redukovaním času potrebného na hĺbenie budú tieto šachty poskytovať dodatočný prístup do tunela. Po jeho otvorení budú plniť úlohu ventilačného potrubia.



Obr.3 Južný vstup Bodio



Obr.4 Stavenisko v Erstfelde

Inou kategóriou úloh boli niekoľkokrát menené požiadavky na udržanie teploty vnútri priečných spojok počas realizácie projektu. Stratégia návrhu preto musí byť schopná prispôbiť sa nielen aktuálnym parametrom, ale musí byť dostatočne flexibilná na adaptovanie sa zmenám požiadaviek.

Spôsoby návrhu

Správne navrhnuť systém vyžadovalo porozumieť aero- a termodynamickému správaniu v tunelových vetvách a ich šachtách. Na základe rozlohy a komplexnosti geometrie tunela by bolo zostavenie presného modelu a jeho testovanie v širokom spektre stavov virtuálne prakticky nemožné. Ako jediný schopný a rozumný spôsob sa javila simulácia. Samotná simulácia musela zohľadňovať množstvo komplexných a neistých okrajových podmienok, napr. prenos tepla medzi stenami tunela a vzduchom, teplotu skál, tok podzemných vôd a vyparovanie, resp. kondenzáciu vody. Z premenlivého správania systému vyplýva, že si-



Obr.5 Inštalačná a prieskumná chodba



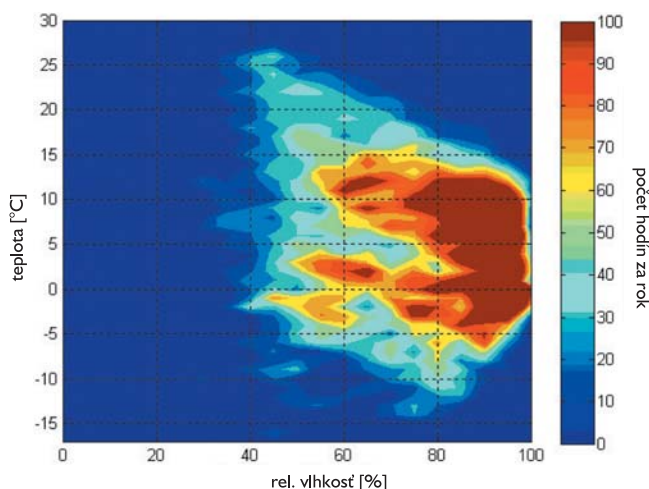
mulácie musia byť časovo závislé. Vzhľadom na uvažovanie neistôt niektorých okrajových podmienok, ako je napr. teplota skál, musia simulácie podporovať rôzne varianty.

Potrebné bolo simultánne namodelovať prietok vzduchu v celej dĺžke 154 km hlavných tunelových vetiev a šacht, aby bolo možné napr. určiť, aký výkonný musí byť ventilačný systém, aby udržal únikové chodby bez dymu.

Vývoj špeciálneho CFD kódu

Balík univerzálneho výpočtového softvéru dynamiky toku (CFD) nebol použiteľný, pretože sa komplikovane prispôbuje. Samostatným balíkom by sa ventilačný systém dal namodelovať len ako 3D úloha. Enormná dĺžka šacht a tunelových vetiev by vyústila do modelu z nekontrolovateľným počtom elementov, pričom simulácia len jedného variantu by trvala týždeň.

Spoločnosť Pöyry vyriešila tento problém vývojom vlastného CFD modelu v prostredí softvéru Matlab. Tento model zvyčajne spracúva všetky dáta do dvoch hodín, čo je zlomok času v porovnaní s použitím univerzálneho CFD kódu pri dodržaní rovnakej presnosti výpočtov. Do modelu sa implementovali straty tlaku prostredníctvom charakteristík ventilátorov alebo tlmiacich prvkov v podobe vyhľadávacích tabuliek alebo funkcií založených na báze experimentálnych dát, čím sa znížil výpočtový čas a zabezpečila sa vyššia presnosť výsledkov. Model v Matlabe vyniká ešte jednou efektívnou prednosťou, umožňuje redukovat' tunel na jednu dimenziu a dĺžku. Je to dané tým, že jeho šírka a výška sú vzhľadom na jeho dĺžku zanedbateľné a vypustenie týchto parametrov nemá prakticky žiaden vplyv na konečné výsledky.



Obr.6 Vizualizácia v Matlabe zobrazujúca priebeh teploty a vlhkosti počas roka

Preddefinované funkcie v Matlabe, ako vyhľadávacie tabuľky, interpolácie a moduly riešenia rovníc, umožnili rýchly vývoj a beh kódu. Štandardné a parciálne diferenciálne rovnice, ktoré hrajú významnú úlohu vo výpočtoch prietokov, sa v prostredí Matlabu jednoducho zadávali a počítali. Experti švajčiarskej firmy sa opierali aj o funkcie importu a exportu dát a o štatistické funkcie na predspracovanie a interpretáciu dát. Na vizualizáciu sa použili 3D funkcie vykresľovania (obr. 6).

Dva algoritmy CFD

Z dôvodu efektívnejších výpočtov používa CFD kód rôzne dynamické algoritmy pre každú oblasť výpočtov. Na modelovanie prúdenia vzduchu v šachtách a tuneloch sa používa metóda konečných objemov, zatiaľ čo na prechod tepla do okolitej skaly sa využíva metóda konečných diferencií. Vyplyvajúci systém rovníc oboch metód sa vypočítal prostredníctvom Optimization Toolbox Matlabu.

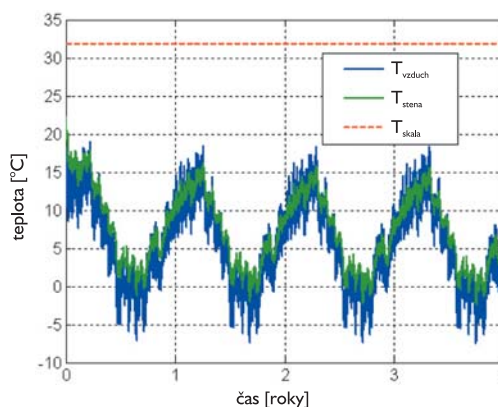
Model prúdenia vzduchu určuje rýchlosť, teplotu a vlhkosť vzduchu v čase a priestore pre celý ventilačný systém. Hmotnostný prietok v šachte je určený okrajovými podmienkami, hustota vzduchu je konštantná a prúdenie je jednodimenzionálne. Výsledkom aerodynamických

rovníc, zákona zachovania hmoty a ideálnych vlastností plynu je redukcia rovnice zákona zachovania hmoty.

V modeli prestupu tepla vypočítavajúceho vedenie tepla cez potrubia od okolitej skaly sa tri sústavy rovníc modelu prúdenia vzduchu zredukovali na jednu Fourierovu rovnicu vedenia tepla. Oba modely sú vzájomne prepojené výmenou tepla medzi skalnou stenou a vzduchom vo ventilačnom potrubí.

Simulácia modelu

Model v Matlabe sa využil na ineračný proces návrhu. Simulácia monitorovala teplotu vzduchu a vlhkosť na viacerých miestach vnútri tunela (obr. 7). Vzhľadom na to, že reakcia okolitých skál je pomerne pomalá, výpočty bolo potrebné nasimulovať v časovom horizonte štyroch rokov. Vplyv začiatkových teplôt na skalách by sa po dlhšom čase stratil a vonkajšie zmeny teplôt na vstupe potrubí by sa len sťažka každý rok rovnako opakovali za predpokladu, že sa merania vykonávali celý rok.



Obr.7 Zobrazenie fluktuácie teploty vzduchu, stien a skál v priebehu štyroch rokov

Výsledky sa vzápätí využili na návrh zariadení kúrenia, ventilácie a klimatizácie pre riadiace miestnosti v Sedrune a Faído. Vykonal sa simulácia ventilačného systému pri nízkom a vysokom zaťažení použitím dvoch rôznych stratégií ventilácie. Výsledky ukázali, že nižšie prúdenie vzduchu redukuje zmeny teplôt vo väčšej miere ako vyššie prúdenie. Ostatné simulácie vyhodnotili výkon ventilátorov v rozličných stavoch pohotovosti, napr. schopnosť dosiahnuť požadovaný tlak v každej tunelovej vetve do troch minút.

Výhody simulácie

Podľa slov zástupcov švajčiarskej firmy by bezpečný ventilačný systém nikdy nenavrhol bez pomoci presnej simulácie dynamiky tekutín. Univerzálny CFD kód by návrh systému dvojnásobne predĺžil. Prostredníctvom Matlabu nasimulovali pomery v tuneli rýchlo a presne, čím docielili návrh systému schopného zabezpečiť komfort a bezpečnosť pasažierov i obsluhy. V nasledujúcom období je ďalšou úlohou implementácia modelu v Matlabe do Simulinku a návrh riadiacich algoritmov pre ventilačný systém tunela Gotthard.

www.mathworks.com

www.vlaky.net