

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 12 ČÍSLO 2/2003

Navigace v dokumentu

OBSAH

Lenner, R. Vliv příčných náběhů desek na průhyby komorových mostů	33
Jiránek, M. – Svoboda, Z. Teplotní pole pod objekty s ventilačním systémem podloží	37
Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R. Vlhkostní parametry cementového kompozitu vyztuženého uhlíkovými vlákny	42
Bartoněk, D. Metodika tisku v grafickém režimu	45
Novák, J. Moderní optické metody měření vibrací v průmyslu – bodové techniky	49
Ficker, T. Glaserův kondenzační model	54
Štroner, M. Návrh a kalibrace měřicího systému tvořeného teodolitem a digitální kamerou	56
Bočková, K. Potenciál využití soudobých metod projektového řízení ve stavební firmě	61

2 • 2003

ročník 12

STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby
dopravní stavby
vodohospodářské stavby
geotechnika
konstrukce a materiály
technologie
životní prostředí
geodézie a kartografie
mechanizace
informatika
ekonomika
software



Fakulta stavební
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků



Český svaz
stavebních inženýrů



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava

OBSAH

Lenner, R.
**Vliv příčných náběhů
desek na průhyby
komorových
mostů 33**

Jiránek, M. – Svoboda, Z.
**Teplotní pole pod objekty
s ventilačním
systémem podloží 37**

Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R.
**Vlhkostní parametry cemen-
tového kompozitu vyztuženého
uhlíkovými vlákny 42**

Bartoněk, D.
**Metodika tisku v grafickém
režimu 45**

Novák, J.
**Moderní optické metody
měření vibrací
v průmyslu – bodové
techniky 49**

Ficker, T.
**Glaserův kondenzační
model 54**

Štroner, M.
**Návrh a kalibrace měřicího
systému tvořeného
teodolitem a digitální
kamerou 56**

Bočková, K.
**Potenciál využití
soudobých metod
projektového řízení
ve stavební firmě 61**

CONTENTS

Lenner, R.
**The Effect of Thickness
Variations of Box Girder
Flanges on Bridge
Deflections 33**

Jiránek, M. – Svoboda, Z.
**Temperature Fields Below
Structures with a Sub-Slab
Ventilation System 37**

Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R.
**Hygric Parameters of Carbon
Fibre Reinforced Cement
Composite 42**

Bartoněk, D.
**Methods of Printing in the
Graphical Format 45**

Novák, J.
**Modern Optical Methods for
Measuring of Vibrations
in Industry – Point
Techniques 49**

Ficker, T.
**Glaser's Condensation
Model 54**

Štroner, M.
**Design and Calibration
of a Measuring System
Composed of the Theodolite
and the Digital Camera . . . 56**

Bočková, K.
**Potential Application of
Current Methods of Project
Management in Construction
Firms 61**

INHALT

Lenner, R.
**Einfluss von Quervouten der
Platten auf die
Durchbiegungen von
Kastenbrücken 33**

Jiránek, M. – Svoboda, Z.
**Temperaturfelder unter Gebäu-
den mit einem Belüftungssys-
tem des Untergrundes . . . 37**

Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R.
**Feuchtigkeitsparameter
von Zementwitterwerkstoff
mit Kohlenstofffasern . . . 42**

Bartoněk, D.
**Druckmethodik
im Grafikregime 45**

Novák, J.
**Moderne optische
Verfahren zur
Vibrationsmessung
in der Industrie 49**

Ficker, T.
**Das Glasersche
Kondensationsmodell . . . 54**

Štroner, M.
**Entwurf und Kalibrierung eines
durch einen Theodoliten und
eine Digitalkamera gebildeten
Messsystems 56**

Bočková, K.
**Potenzial der Anwendung
der gegenwärtigen Methoden
des Planungsverfahrens
in einer Baufirma 61**

REDAKČNÍ RADA

Předseda:
prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:
doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

Tajemníci:
doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.
doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

Členové:
Ing. Miroslav BAJER, CSc.
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.
Ing. Jiří HIRŠ
Ing. Ivan HRDINA
doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.
Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.
doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.
Ing. Karel KUBEČKA
Ing. Petr KUNEŠ, CSc.
doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.
doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.
doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.
doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.
prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.
doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.
doc. Ing. Vlastimil STARÁ, CSc.
Ing. Karel SVOBODA
doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.
doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do
tisku 8. 1. 2003. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Vliv příčných náběhů desek na průhyby komorových mostů

Ing. Roman LENNER
Valbek, s. r. o.
Liberec

Je prezentována parametrická studie pro posouzení vlivu příčných náběhů desek komorových nosníků na redukci průhybů mostů. Je známo, že příčné náběhy komorových mostů mají příznivý vliv na redukci projevů ochabnutí smykem, a tím i na zrovnoměnění rozložení podélných normálových napětí v deskách. Z výsledků ukázané parametrické studie vyplývá, že vliv příčných náběhů desek na redukci průhybů komorových mostů není zdaleka tak přínosný, jako je tomu pro rozložení napětí.

Statická analýza komorových nosníků byla v posledních padesáti letech předmětem intenzivního výzkumu, jehož výsledkem je rozsáhlý soubor prací zaměřený převážně na problematiku **vázaného kroucení s doprovodnou deformací tvaru průřezů**. Avšak i zdánlivě jednoduché ohybové chování komorových nosníků, typicky doprovázené smykovými účinky, nemusí být v praktických výpočtech dostatečně věrně vystiženo. Z hlediska smykových účinků jde o dva faktory: smykové deformace stěn a ochabnutí smykem.

Smykovým faktorem, typickým pro komorové mosty, je ochabnutí smykem. Tento známý jev vzniká v důsledku smykových deformací vodorovných desek komorových nosníků v jejich vlastní rovině projevujících se deplací průřezu – z toho vyplývá nerovinné rozložení axiálních poměrných deformací, a následně i nerovnoměrné rozložení podélných normálových napětí podél šířek těchto desek. Rozložení podélných normálových napětí může odpovídat klasickému nebo negativnímu smykovému ochabnutí podle toho, zda jde o prostý nosník, vnitřní nebo nadpodporovou část spojitého nosníku, anebo konzolu nebo oblast poblíž inflexních bodů spojitého nosníku.

Smykové ochabnutí, kromě nerovnoměrnosti v rozložení napětí, též vyvolává redukci tuhosti, což se ve většině případů projeví zvýšením průhybů konstrukce. Je to v souladu s představou o neúplném využití průřezu v důsledku nerovnoměrného rozložení podélných napětí – konstrukce vykazuje vyšší průhyby, než by odpovídalo jednoduchému technickému výpočtu ignorujícímu ochabnutí smykem.

Je všeobecně známo, že pro intenzitu smykového ochabnutí je rozhodujícím faktorem poměr šířky pásu a jeho rozpětí. Význam smykového ochabnutí velmi vzrůstá, pokud je velký poměr šířky komory (popř. vyložení konzol průřezu) a vzdálenosti průřezů nosníku s nulovými hodnotami ohybových momentů (fiktivní rozpětí prostého nosníku); pro klasické smykové ochabnutí je vliv tohoto faktoru

monotónní, u negativního smykového ochabnutí je situace složitější [1]. Dále platí, že smykové ochabnutí je nejvýraznější v oblastech působení velkých soustředěných zatížení (např. reakcí) a obecně v oblastech velkého gradientu posouvajících sil.

Jak bylo ukázáno v [2], intenzita smykového ochabnutí však je též ovlivněna proměnností tloušťky vodorovných desek komorových nosníků t . Jde o dva faktory:

■ smykový tok v deskách q (příčina smykových deformací desek) je při postupu podél šířky desky proměnný – na svislé ose symetrie průřezu, tj. uprostřed šířek desek, má tento smykový tok nulovou velikost a vzrůstá směrem ke stěnám. Pro smykové deformace vodorovných desek v jejich vlastní rovině γ platí obecný vztah

$$\gamma = \tau / G = q / G t.$$

Je tedy zřejmé, že pokud bude tloušťka vodorovné desky komorového nosníku t ve směru od středu desky vzrůstat, budou v ní vznikající smyková napětí τ , a tudíž i její smykové deformace menší než deformace, které by vznikaly u desky stále tloušťky.

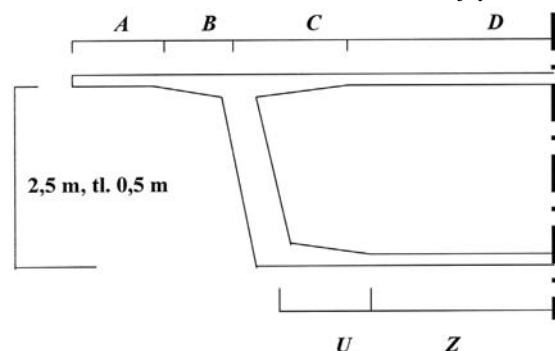
Jinými slovy, ochabnutí smykem je důsledkem smykových deformací desek průřezu, které závisejí na intenzitě smykových napětí a na rozsahu šířek desek zasažených vysokými hodnotami smykových napětí. Pro redukci nepříznivých projevů ochabnutí smykem je proto žádoucí snížit smyková napětí v oblastech při okrajích desek, kde dosahují nejvyšší intenzity. Toho lze dosáhnout přeskupením materiálu v desce – zvětšením tloušťky desek v oblastech při okrajích desek, a naopak zmenšením jejich tloušťky ve střední oblasti, přičemž celková plocha průřezu desky může být zachována;

■ dalším příznivým faktorem u komorových nosníků s příčnými náběhy desek je tvar střednice průřezu – vzhledem k tomu, že vnější povrchy desek jsou rovinné, je střednice náběhu skloněná a v oblastech blízkých stěnám (kde v důsledku smykového ochabnutí vzniká největší napětí) je střednice blíže k neutrální ose průřezu než v oblastech u středu šířek desek (kde v důsledku smykového ochabnutí naopak vzniká nejmenší napětí); to má za následek snížení napětí při okrajích desek, a naopak zvýšení napětí ve středních oblastech desek, tedy zrovnoměnění rozložení podélných normálových napětí podél šířky desek.

U komorového průřezu s příčnými náběhy desek je proto rozložení podélných normálových napětí rovnoměrnější než u průřezu s deskami stále tloušťky [2], [3]. Záměrem článku je sledovat, jak se projeví příčné náběhy desek průřezu na **redukci průhybů** komorových nosníků.

Formou parametrické studie jsou porovnávány průhyby typického pole spojitého nosníku s velkým počtem polí komorového průřezu s různými náběhy desek. Rozpětí sledovaného vnitřního pole spojitého nosníku L se mění od 35

do 55 m, zatížení je rovnoměrné intenzity $q = 100 \text{ kN/m} = 100 \text{ N/mm}$, soustředěné nad stěny nosníku. Tvar průřezu ukazuje *obr. 1*; celková plocha průřezu a jeho celkový moment setrvačnosti zůstává v všech variant stejný.



Obr. 1. Uspořádání příčného řezu nosníku

Modul pružnosti materiálu konstrukce je $E = 33\,000 \text{ MN/m}^2$, Poissonův součinitel $\nu = 0,18$. Výpočty jsou provedeny přesnou metodou lomenic respektující všechny účinky, tj. ohybové účinky a smykové deformace stěn, a též ochabnutí smykem. V rámci parametrické studie byly řešeny dva případy rozsahu náběhů, a to dosahující:

- do čtvrtiny šířky desek (tj. střední polovina šířky desky je stálého průřezu),
- do šestiny šířky desek (tj. dvě třetiny střední části šířky desky jsou stálého průřezu).

Dále byly pro každý z těchto dvou případů provedeny výpočty pro tři stupně výraznosti náběhů:

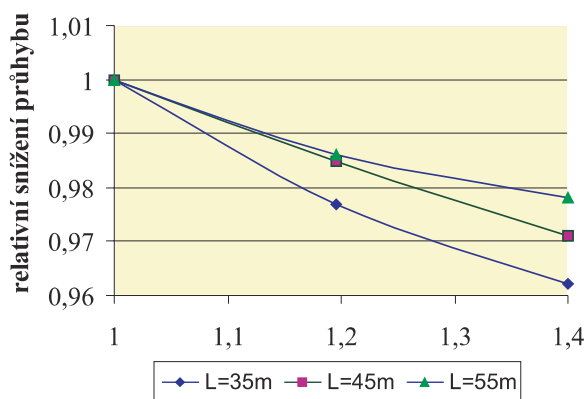
- základní průřez – bez náběhů desek,
- nevýrazné náběhy,
- výrazné náběhy.

Rozměry částí průřezu vyznačeného na *obr. 1*, odpovídající těmto kombinacím uspořádání, jsou uvedeny v *tab. 1*. Výsledky výpočtů pro obě uspořádání shrnují *tab. 2* a *tab. 3*, kde:

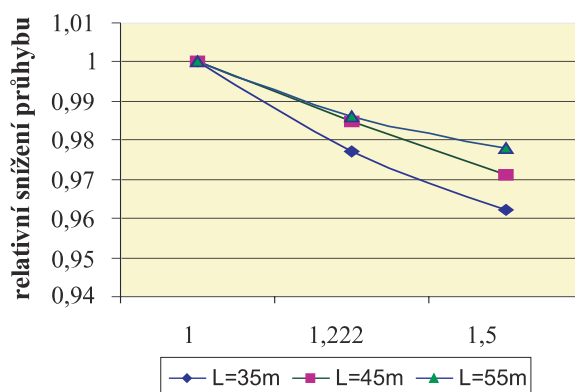
- y_{oh} je průhyb středu pole stanovený základní nosníkovou teorií bez respektování smykových deformací stěn a ochabnutí smykem;
- y_{lomen1} – průhyb středu pole nosníku se základním průřezem (bez náběhů desek) stanovený výpočtem podle teorie lomenic;
- y_{lomen2} – průhyb středu pole nosníku s průřezem s nevýraznými náběhy stanovený výpočtem podle teorie lomenic;
- y_{lomen3} – průhyb středu pole nosníku s průřezem s výraznými náběhy stanovený výpočtem podle teorie lomenic.

Hodnota y_{lomen} / y_{oh} ukazuje poměr přesných hodnot průhybů zjištěných podle teorie lomenic a průhybů stanovených podle základní technické teorie respektující jen ohybové účinky.

Je zřejmé, že podcenění průhybů základní teorií je v každém případě, zejména u krátkých rozpětí, velmi významné. Vliv náběhů na redukcii průhybu pro případ α

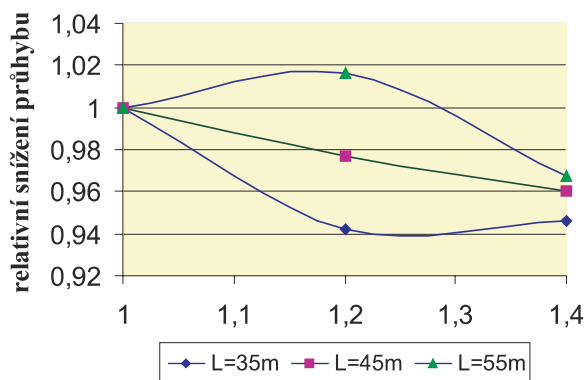


a) poměr tloušťky náběhu a tloušťky vrchní desky na ose mostu

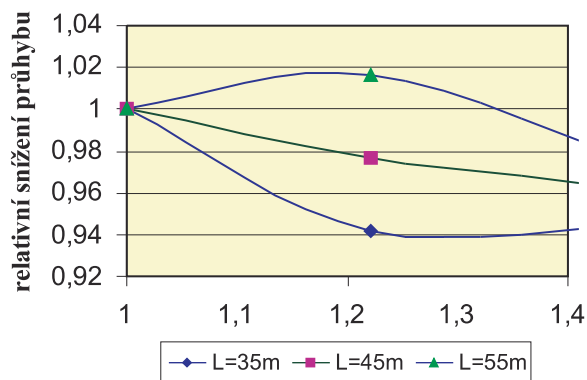


b) poměr tloušťky náběhu a tloušťky spodní desky na ose mostu

Obr. 2. Relativní snížení průhybu vlivem náběhů desek – široké náběhy



a) poměr tloušťky náběhu a tloušťky vrchní desky na ose mostu



b) poměr tloušťky náběhu a tloušťky spodní desky na ose mostu

Obr. 3. Relativní snížení průhybu vlivem náběhů desek – úzké náběhy

ukazují obr. 2a a obr. 2b; pro případ β obr. 3a a obr. 3b – v tomto případě úzkých náběhů není tendence redukce průhybů tak monotónní jako v případě α .

Závěr

Z výsledků parametrické studie vyplývá, že příčné náběhy desek komorových mostů mají příznivý vliv na redukci průhybů, avšak toto snížení deformací není zdaleka tak významné, jako jejich vliv na zrovnomnění rozložení podélných normálových napětí v deskách. Důvod je možné spatřovat v tom, že redukce tuhostí nosníku závisí na způsobu rozložení napětí ve všech průřezích, tedy nejen v těch, v nichž je rozložení napětí výrazně nerovnoměrné.

Uvedené výsledky vyplynuly z řešení grantového projektu č. 103/02/1005 GA ČR.

Literatura

- [1] Křístek, V. – Studnička, J.: Negative Shear Lag in Flanges of Plated Structures. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No.12, 1991, pp. 3553–3569.
- [2] Křístek, V. – Škaloud, M.: Advanced Analysis and Design of Plated Structures. Amsterdam, Elsevier Science Publ. 1991.
- [3] Šafář, R. – Tesei, F. – Křístek, V.: Redukce nepříznivých projevů ochabnutí smykem úpravou tvaru průřezu. [Sborník], konference „Statika mostů 2002“, Brno, 2002.

Tab. 1. Rozměry částí průřezu z obr. 1

Případ, část průřezu	Šířka	Ploušťka	Šířka	Průměrná tloušťka	Šířka	Průměrná tloušťka
	$\alpha 1$		$\alpha 2$		$\alpha 3$	
A	1,625	0,30	1,625	0,275	1,625	0,25
B	1,625	0,30	1,625	0,325	1,625	0,35
C	2,000	0,30	2,000	0,325	2,000	0,35
D	2,000	0,30	2,000	0,275	2,000	0,25
U	1,750	0,25	1,750	0,275	1,750	0,30
Z	1,750	0,25	1,750	0,225	1,750	0,20
Případ, část průřezu	$\beta 1$		$\beta 2$		$\beta 3$	
	Šířka	Ploušťka	Šířka	Průměrná tloušťka	Šířka	Průměrná tloušťka
A	2,1667	0,30	2,1667	0,275	2,1667	0,25
B	1,0833	0,30	1,0833	0,350	1,0833	0,40
C	1,3333	0,30	1,3333	0,350	1,3333	0,40
D	2,6667	0,30	2,6667	0,275	2,6667	0,25
U	1,1667	0,25	1,1667	0,300	1,1667	0,35
Z	2,3333	0,25	2,3333	0,225	2,3333	0,20

Tab. 2. Vliv náběhů desky na průhyb komorového nosníku – uspořádání α

L	y_{oh}	y_{lomen1}	y_{lomen2}	y_{lomen3}	y_{lomen1}/y_{oh}	y_{lomen2}/y_{oh}	y_{lomen3}/y_{oh}
35	0,0123	0,0214	0,0209	0,0206	1,740	1,699	1,675
45	0,0336	0,0481	0,0474	0,0467	1,432	1,411	1,390
55	0,0749	0,0964	0,0951	0,0943	1,287	1,270	1,260

Tab. 3. Vliv náběhů desky na průhyb komorového nosníku – uspořádání β

L	y_{oh}	y_{lomen1}	y_{lomen2}	y_{lomen3}	y_{lomen1}/y_{oh}	y_{lomen2}/y_{oh}	y_{lomen3}/y_{oh}
35	0,0123	0,0214	0,02016	0,02024	1,740	1,642	1,648
45	0,0336	0,0481	0,04700	0,04620	1,432	1,400	1,377
55	0,0749	0,0964	0,09790	0,09320	1,287	1,307	1,244

Lenner, R.: The Effect of Thickness Variations of Box Girder Flanges on Bridge Deflections

This parametric study focuses on the effect of thickness variations of box girder flanges on reduction of bridge deflections. It is well known that a tapered shape of flanges results in reduction of shear lag effects, and, consequently, in more uniform distribution of longitudinal normal stresses across the flange widths. It results from the presented parametric study that the tapered shape of flanges is not so beneficial for the deflection reduction as it is for the uniformity of stress distribution.

Lenner, R.: Einfluss von Quervouten der Platten auf die Durchbiegungen von Kastenbrücken

Es wird eine Parameterstudie zur Beurteilung des Einflusses von Quervouten der Platten von Kasten-trägern auf die Reduzierung der Durchbiegungen von Brücken vorgestellt. Es ist bekannt, dass Quervouten von Kastenbrücken einen günstigen Einfluss auf die Reduzierung von Erscheinungen der Schubverzerrung, und damit auch auf die gleichmäßigere Verteilung der Längsnormalspannungen in den Platten haben. Aus den Ergebnissen der aufgezeigten Parameterstudie geht hervor, dass der Einfluss von Quervouten der Platten auf die Reduzierung der Durchbiegungen von Kastenbrücken bei weitem nicht so zuträglich ist, wie es für die Spannungsverteilung der Fall ist.

• zpráva

Ocenění pro vysouvané tunely pod Vltavou

Ocenění *fib* za vynikající betonovou konstrukci bylo v japonské Ósace uděleno vysouvaným tunelům pod Vltavou na budované trase pražského metra VI.C. Cenu převzal vedoucí řešitelského týmu akciové společnosti Metrostav doc. Ing. Jan L. Vítek, CSc. Stalo se tak u příležitosti historicky prvního světového kongresu *fib* (Fédération internationale du béton), organizace, která v roce 1998 převzala veškeré aktivity dvou odborných institucí – CEB a FIP, jež od roku 1952 sdružovaly přední světové odborníky zabývající se využitím betonu.

Toto prestižní ocenění může být uděleno realizovanému projektu, při jehož stavbě byly použity zcela nové nebo netradiční postupy, metody a materiály. Z celkového počtu 39 členských států jich zaslalo dvanáct do soutěže celkem 41 pozoruhodných řešení. Technologie vysouvaných tunelů pod Vltavou, kterou pro stavbu dvou tunelů pro pražské metro vyvinuli experti Metrostavu, zaujala odbornou porotu *fib* natolik, že tomuto projektu udě-

lila jedno z pěti nejvyšších ocenění. Výstavba dvou tunelů ze speciálního betonu dlouhých 168 m byla zejména odbornou veřejností bedlivě sledována, neboť tubusy takových parametrů (délka a značné směrové i výškové

zakřivení) byly řekou pomocí technologie vysouvaní budovány vůbec poprvé. Opodstatněnost použití metody, při které se tubus v celé délce vybetonuje v suchém doku a později pomocí pontonu a systému speciálních tažných a brzdných zařízení vysune do předem vyhloubené rýhy ve dně řeky, se v plné míře prokázala při srpnové povodni. Pokud by totiž výstavba tohoto úseku metra probíhala klasickou technologií jímkování, s níž projekt původně počítal, hrozilo by nebezpečí destrukce rozestavěného díla. Stavba tunelů pod Vltavou by totiž byla právě ve fázi realizace druhé jímky uprostřed řeky, a takovému vodnímu přívalu by mohla jen stěží odolat.



Tisková informace

Teplotní pole pod objekty s ventilačním systémem podloží

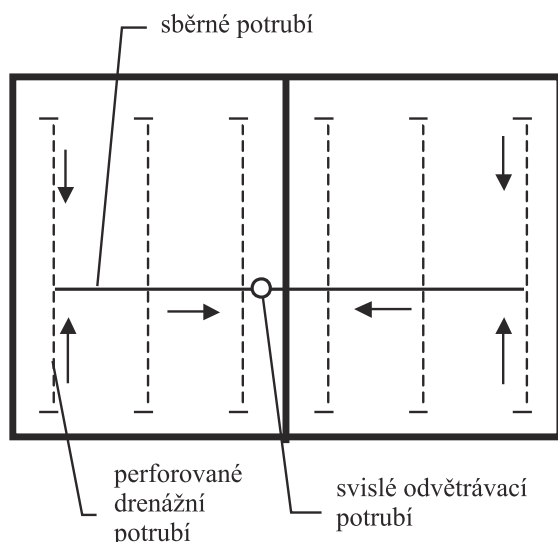
Ing. Martin JIRÁNEK, CSc.
Dr. Ing. Zbyněk SVOBODA
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Rozložení teplot v zemině pod objekty s ventilačním systémem podloží, navrhovaným jako protiradonové opatření, je dosud poměrně málo prozkoumanou oblastí. Měření teplot v zeminách pod podlahami, které probíhá v současné době, poskytuje řadu nových poznatků.

Ventilační systémy podloží jako protiradonové opatření

Větrací systémy podloží jsou všeobecně považovány za jedno z neúčinnějších a neefektivnějších protiradonových opatření. Jejich úkolem je snižovat koncentraci radonu pod základovou deskou a vytvářet podtlak v podloží vůči tlaku vzduchu v kontaktních podlažích. Přesnou metodiku navrhování a provádění lze nalézt v ČSN 73 0601 [3]. Podle této normy se navrhují buď u nových staveb s vysokým radonovým rizikem jako doplňkové opatření k protiradonové izolaci, nebo u staveb, v nichž dochází k překročení směrné koncentrace radonu v interiéru 400 Bq/m³ [7].

Větrací systémy podloží bývají nejčastěji tvořeny soustavou perforovaných drenážních trub (plastových, keramických, kameninových atd.) uložených do souvislé vysoce propustné vrstvy štěrku s nejmenší tl. 150 mm. Rozmístění drenážních trub po půdorysu objektu musí zajistit spolehlivé (v průběhu celého roku) provětrávání drenážní vrstvy po celém jejím půdorysu. U nových staveb se používá geometrický tvar podle obr. 1, u staveb stávajících varianta podle obr. 2 s drenážními hadicemi vloženými do drážek v podlahách po obvodu místnosti. Vzájemná vzdálenost rovnoběžně umístěných drenážních trub podle obr. 1 by neměla být menší než 2 m a větší než 4 m. Průměr koncových trub



Obr. 1. Varianta větracího systému podloží vhodná pro nové stavby

se volí 60 až 100 mm, sběrné potrubí se navrhuje s průměrem 100 až 150 mm. Vzdálenost perforovaných trub od obvodových stěn je limitována možností promrznání základové půdy (zvláště na vysoce propustném podloží), což je třeba vždy posoudit, anebo založení přizpůsobit nižším teplotám podloží.

Půdní vzduch z drenážních hadic je do exteriéru odváděn horizontálním sběrným potrubím a svislým odvětrávacím potrubím zakončeným nad střechou objektu ventilační turbínou nebo střešním ventilátorem. Alternativně může být ventilátor osazen v půdním prostoru (obr. 3). Pro běžný rodinný domek stačí ventilátory o příkonu 25 až 75 W s podtlakem 50 až 150 Pa při odsávání množství vzduchu 100 až 200 m³/h. Ventilátory s příkonem 100 W a více, vytvářející podtlak několika stovek pascalů (obvykle 200 až 350 Pa), se používají pro půdorysně rozsáhlejší stavby, jako jsou školy, obchody atd.

Výpočet teplot v zemině pod podlahou s ventilačním systémem

Výpočtová analýza rozložení teplot v zemině pod podlahou s ventilačním systémem musí být založena na numerickém řešení kombinovaného šíření tepla kondukcí a konvekcí. Řídící rovnicí tohoto děje je méně známá diferenciální rovnice, která je často v zahraniční literatuře označována jako konvektivně difúzní rovnice a kterou lze zapsat pro stacionární stav ve tvaru

$$\lambda \nabla^2 T + \rho_a c_a \frac{k}{\mu} \bar{\nabla} p \cdot \bar{\nabla} T = 0, \quad (1)$$

kde T je teplota [°C],

c_a – měrná tepelná kapacita vzduchu [J.kg⁻¹.K⁻¹],

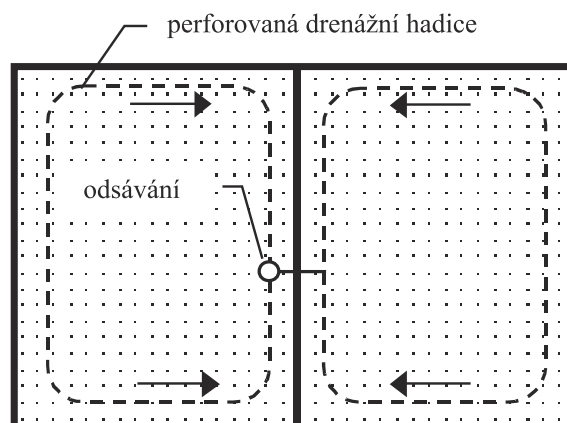
λ – tepelná vodivost materiálu [W.m⁻¹.K⁻¹],

ρ_a – hustota vzduchu [kg.m⁻³],

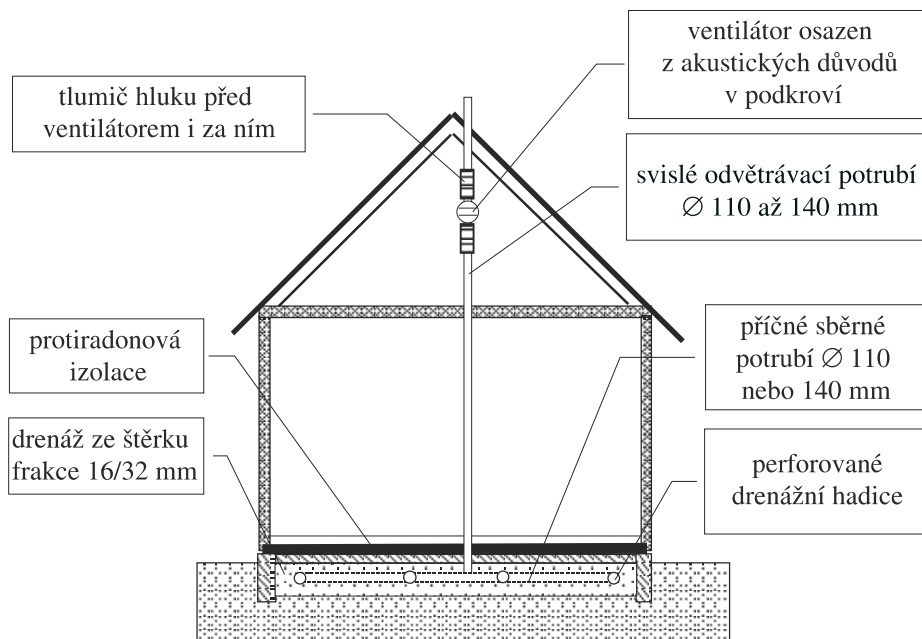
k – permeabilita porézního materiálu [m²],

p – tlak vzduchu [Pa],

μ – dynamická viskozita vzduchu [Pa.s].



Obr. 2. Varianta odvětrání z drenážních hadic vložených do drážky v podlaze kolem stěn – vhodná pro stávající stavby



Obr. 3. Odvětrání podloží pod objektem pomocí perforovaných plastových trub vložených do vrstvy šterku pod podkladním betonem

První člen na levé straně rovnice (1) vyjadřuje transport tepla vedením (odpovídá známé rovnici vedení tepla), druhý člen pak přenos tepla způsobený konvekcí vzduchu prodyšnou konstrukcí a netěsností v ní.

Přestože je možné pro rovnici (1) použít všechny standardní okrajové podmínky, nejvhodnější pro analýzu teplotního pole pod objektem je Newtonova okrajová podmínka definovaná jako

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} + v_n \rho_a c_a (T - \bar{T}) = \alpha (T - \bar{T}), \quad (2)$$

kde v_n je složka rychlosti proudění ve směru normály k hranici [m.s⁻¹],

\bar{T} – známá teplota v prostředí sousedícím s hranicí hodnocené oblasti [°C],

α – součinitel přestupu tepla [W.m⁻².K⁻¹].

Numerické řešení rovnice (1) s okrajovou podmínkou (2) lze odvodit za těchto předpokladů:

- přenos tepla je dvourozměrný a ustálený;
- proudění vzduchu stavební konstrukcí je vyvoláno jen působícím tlakovým gradientem (v případě ventilačních systémů jde o rozdíl tlaků způsobený ventilátorem);
- vzduch je nestlačitelný;
- rychlost proudění vzduchu je definována Darcyho zákonem

$$\vec{v} = -\frac{k}{\mu} \nabla p; \quad (3)$$

- rozložení tlaků vzduchu v konstrukci je definováno Laplaceovou rovnicí

$$k \cdot \nabla^2 p = 0. \quad (4)$$

K řešení rovnice (1) lze použít běžné numerické metody – metodu sítí nebo metodu konečných prvků. Zvláštní pozornost je třeba věnovat hlavně problému numerické stability řešení vzhledem k destabilizujícímu vlivu konvektivního členu v rovnici (1).

Podívejme se na způsob řešení rovnice (1) metodou konečných prvků (MKP). Obecnou formulaci MKP je vhod-

né odvodit Petrovým-Galerkinovým postupem, který vychází z podmínky

$$\int_{\Omega_e} \left[\lambda \nabla^2 T + \rho_a c_a \frac{k}{\mu} \nabla p \nabla T \right] \mathbf{W}_i d\Omega = 0, \quad (5)$$

kde \mathbf{W}_i je vektor váhových funkcí a Ω_e je plocha konečného prvku. Rovnice (5) vyjadřuje požadavek, aby reziduum numerického řešení rovnice (1) bylo ortogonální k váhovým funkcím \mathbf{W}_i .

Neznámá funkce teploty T v rovnici (5) je uvažována jako aproximace

$$T = \mathbf{N}_i^T \mathbf{T}_i, \quad (6)$$

kde \mathbf{N}_i je vektor interpolačních funkcí,

\mathbf{T}_i – vektor neznámých hodnot teploty v uzlových bodech prvku [°C].

Interpolační funkce \mathbf{N}_i jsou známé funkce úzce svázané s typem zvolených konečných prvků. Definice váhových funkcí \mathbf{W}_i je v tomto případě velmi významná. Zienkiewicz [6] doporučuje uvažovat váhové funkce jako

$$\mathbf{W}_i = \mathbf{N}_i + \varepsilon \frac{h}{2} \frac{u \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} + v \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial y}}{|\mathbf{u}|}, \quad (7)$$

kde h je rozměr prvku ve směru proudění [m],

u – složka rychlosti proudění ve směru osy x [m.s⁻¹],

v – složka rychlosti proudění ve směru osy y [m.s⁻¹],

$|\mathbf{u}|$ – vektor rychlosti proudění [m.s⁻¹].

Jestliže je hodnota ε zvolena jako

$$\varepsilon = \coth Pe - \frac{1}{Pe} \quad (8)$$

a Pecletovo číslo jako

$$Pe = \frac{\rho_a c_a |\mathbf{u}| h}{2\lambda}, \quad (9)$$

potom lze podle Zienkiewicze vyloučit numerické oscilace v řešení, a to pro libovolný poměr mezi dílčím konvektivním a konduktivním transportem tepla.

Potřebnou obecnou formulaci MKP lze získat při použití uvedených interpolačních a váhových funkcí z rovnice (5)

integrací per-partes a dosazením okrajových podmínek (2) ve tvaru

$$(\mathbf{K}_\lambda + \mathbf{K}_v + \mathbf{K}_\alpha) \mathbf{T}_i = \mathbf{q}_\alpha. \quad (10)$$

Matice vodivosti \mathbf{K}_λ v rovnici (10) je definována jako

$$\mathbf{K}_\lambda = \int_{\Omega^{(e)}} \lambda \left(\frac{\partial \mathbf{W}_i}{\partial x} \frac{\partial \mathbf{N}_i^T}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{W}_i}{\partial y} \frac{\partial \mathbf{N}_i^T}{\partial y} \right) d\Omega, \quad (11)$$

matice konvektivního transportu tepla \mathbf{K}_v jako

$$\mathbf{K}_v = \int_{\Omega^{(e)}} \rho_a c_a \left(u \mathbf{W}_i \frac{\partial \mathbf{N}_i^T}{\partial x} + v \mathbf{W}_i \frac{\partial \mathbf{N}_i^T}{\partial y} \right) d\Omega, \quad (12)$$

matice okrajových podmínek \mathbf{K}_α jako

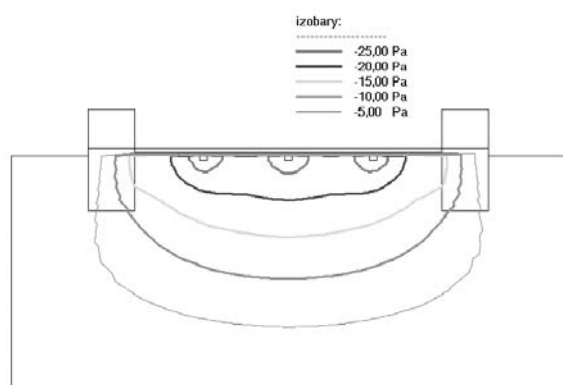
$$\mathbf{K}_\alpha = \int_{\Gamma^{(e)}} (\alpha - v_n \rho_a c_a) \mathbf{W}_i \mathbf{N}_i^T d\Gamma \quad (13)$$

a vektor okrajových podmínek \mathbf{q}_α jako

$$\mathbf{q}_\alpha = \int_{\Gamma^{(e)}} (\alpha - v_n \rho_a c_a) \mathbf{W}_i \bar{T} d\Gamma. \quad (14)$$

Za poznámku stojí fakt, že matice konvektivního transportu tepla \mathbf{K}_v není symetrická, což vede následně k tomu, že také výsledná matice soustavy lineárních rovnic pro určení neznámých uzlových hodnot \mathbf{T}_i není symetrická.

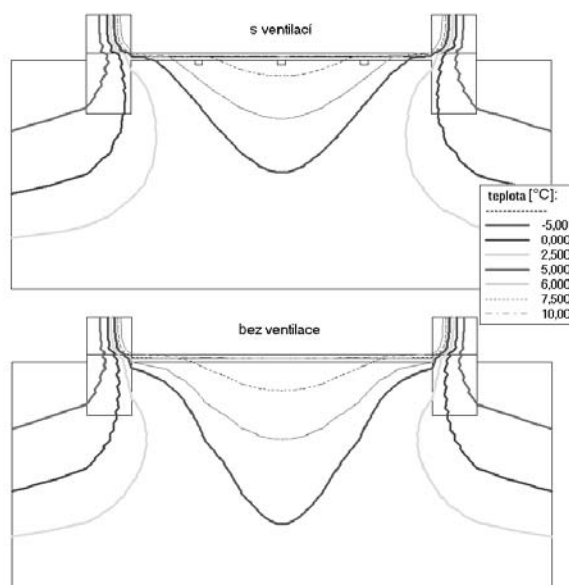
Na základě rovnice (10) autoři tohoto příspěvku vytvořili program Wind2D, který umožňuje výpočet tlakových polí, rychlostí proudění vzduchu, teplotních polí a hustoty tepelných toků v porézních stavebních konstrukcích – tedy i v podloží pod objektem. Podrobnější informace a analýzu numerické stability jeho řešení lze nalézt např. v příspěvku [5]. Podívejme se nyní na některé výsledky tohoto programu. Na obrázku 4 je uvedeno rozložení tlaku vzduchu v zemině pod objektem s ventilačním systémem. Jde o nepodsklepený objekt šířky 5 m s tepelnou izolací tl. 50 mm v podlaze. Pod objektem jsou umístěny tři podélné drenážní trubky napojené na ventilátor, který vytváří v trubkách podtlak -30 Pa proti tlaku v exteriéru. Tepelná vodivost zeminy byla uvažována podle ČSN EN ISO 13370 [8] hodnotou $2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



Obr. 4. Pole tlaků vzduchu pod objektem s ventilačním systémem

Teplotní pole pod tímto objektem dokumentuje pro vnitřní teplotu 21 °C a venkovní teplotu -15 °C obr. 5, a to včetně porovnání se stavem bez ventilačního systému. Zemina byla pro tento výpočet modelována podle ČSN EN ISO 10211-1 [9] jako blok o výšce 3 m, přičemž na jeho spodní hranici byla uvažována teplota 5 °C jako Dirichletova okrajová podmínka (do výpočtu ji lze formálně zavést jako Newtonovu podmínku s velmi vysokým součinitelem přestupu tepla).

Z výsledků analýzy vyplývá, že při provozu ventilačního systému se teploty v zemině pod podkladním betonem budou pohybovat v rozmezí $3,8$ až $8,3$ °C, zatímco bez ventilace by byly poněkud vyšší – od $6,0$ do $8,7$ °C. Rozdíly mezi stavem s ventilací a bez ní mohou být výrazně ovlivněny i těsností podlahové konstrukce. Pokud má podlaha trhliny, může docházet i k přísávání teplého vzduchu z interiéru do podloží a k jeho následnému mírnému prohřívání. Naopak, při trhlinách v základu může docházet k přísávání vnějšího chladného vzduchu do zemině pod podlahou.



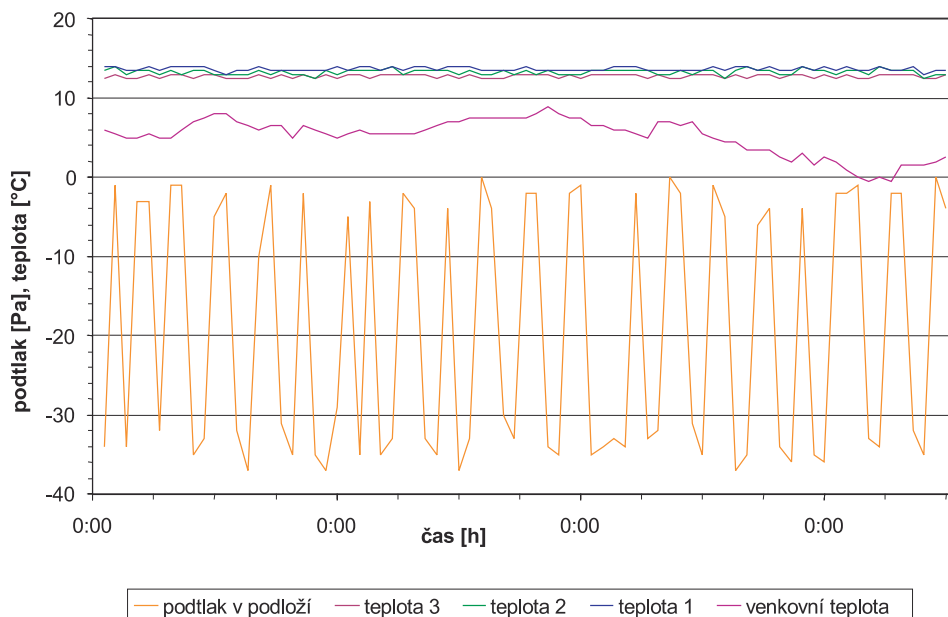
Obr. 5. Pole teplot pod objektem s ventilačním systémem

Měření teplot in-situ

Správnost výpočetních modelů může ověřit samozřejmě jen porovnání s experimentálně získanými daty. V současné době probíhá dlouhodobé měření teplot pod podlahami vybraných obývaných rodinných domů v rámci ověřování účinnosti protiradonových opatření [1]. V měřených objektech byl pod podlahou proveden ventilační systém s nuceným odtahem vzduchu jako opatření proti přísunu radonu z podloží. V rámci stavebních prací byla pod podlahové konstrukce umístěna teplotní čidla a po obnovení provozu bylo v objektech zahájeno kontinuální měření teplot v zemině pod podlahami.

Na obrázku 6 je vidět jeden z dílčích záznamů měření získaných v průběhu tří dnů v jarním období v rodinném domě v Milešově. Podlahová konstrukce objektu obsahovala tepelnou izolaci z pěnového polystyrenu tl. 50 mm. Grafem je znázorněn průběh venkovní teploty a teplot v zemině pod podlahou v různých místech objektu. Jako teplota 1 je označena teplota pod podlahou obývacího pokoje u obvodové stěny částečně zaříznuté do svahu (cca 50 cm pod terémem), teplota 2 byla měřena v zemině pod obývacím pokojem u obvodové stěny celé nad terémem, teplota 3 pod podlahou ložnice uprostřed místnosti. Je zřejmý i podtlak vzduchu v podloží vytvořený periodicky se opakujícím nuceným větráním za pomoci ventilátoru napojeného na ventilační potrubí.

Z dlouhodobějšího sledování, které není v grafu zachyceno, vyplývá, že při trvalejší venkovní teplotě kolem 10 °C se teploty 1 a 2 pohybuje mezi $13,5$ až $14,5$ °C, zatímco při venkovní teplotě kolem 0 °C klesají na $12,5$ až $13,5$ °C. Teplota 1 je přitom vždy vyšší než teplota 2 cca o 1 °C – pravděpodobně proto, že stěna, u které je teplotní čidlo, je



Obr. 6. Výsledky měření teploty v zemině pod podlahou RD v Milešově

částečně zahlobena pod terén. Z vnější strany stěny je tudíž větší tloušťka zeminy, která funguje jako tepelný izolant. Graf dále potvrzuje závislost teploty zeminy pod podlahou na teplotě v interiéru. Nejnižších hodnot dosahuje teplota 3 pod podlahou ložnice, ačkoli zde bylo čidlo umístěno do středu místnosti. Příčinou je teplota vnitřního vzduchu, která byla v ložnici nižší než v obývacím pokoji.

Z výsledků tohoto a dalších měření tedy vyplývá, že teplota vzduchu pod domem závisí především na teplotě v interiéru a na přítomnosti tepelné izolace v podlaze. Při interiérové teplotě 21 až 22 °C a venkovní v rozmezí 0 až 10 °C se teploty v zemině pod podlahou pohybují od 12 do 14 °C – pokud je v podlaze tepelná izolace v běžné tl. 50 mm. U domů bez tepelné izolace v podlaze jsou teploty pod domem vyšší, např. pro dlouhodobou venkovní teplotu 0 °C bylo naměřeno pod podlahou 14 až 15 °C.

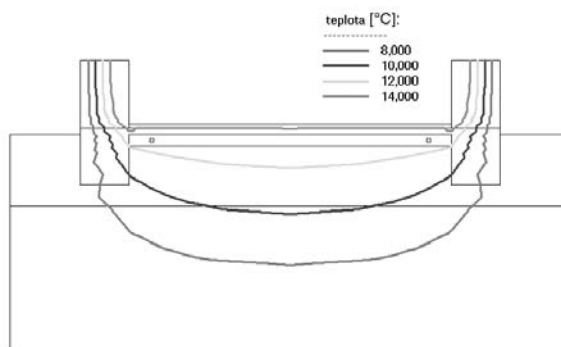
Z měření je zřejmý i vliv tepelných mostů u základů objektů. Bylo totiž zjištěno, že u obvodových stěn jsou teploty v zemině pod podlahou cca o 1 až 2,5 °C nižší než teploty ve středu domu. Rozdíl je i mezi jednotlivými obvodovými stěnami – u stěn, ke kterým je z vnější strany přilhlut terén, je teplota cca o 1 °C vyšší než u stěn, které jsou po celé výšce vystaveny vnějšímu vzduchu.

Denní změny vnější teploty se v teplotě zeminy pod podlahou neprojevují. Vliv dlouhodobějšího snížení či zvýšení venkovní teploty lze zaznamenat pouze u zeminy pod podlahou u obvodové stěny, a to nejdříve po dvou dnech od začátku klimatických změn. Teploty pod podlahou ve středu místnosti na změny venkovní teploty v podstatě nereagují.

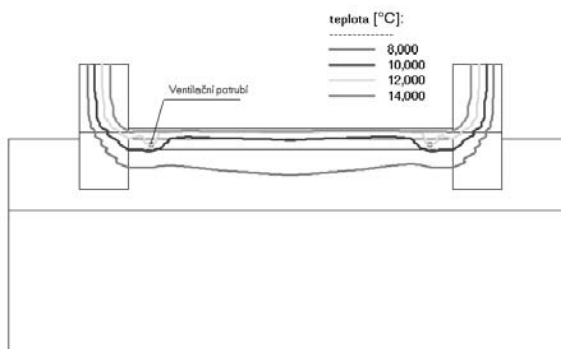
Z měření vyplynulo i to, že ventilační systém pod podlahou, který pracuje cyklicky, teploty v zemině příliš nezmění. Četnost spínání nuceného odtahu vzduchu přitom nerozhoduje. Při nepřetržitém chodu ventilátoru dojde nicméně zhruba během jednoho dne k poklesu teplot u obvodových stěn o 1 až 2 °C proti stavu bez ventilace podloží. Ve středu domu činí tento pokles vlivem ventilace maximálně 0,5 °C. Uvedené hodnoty platí pro objekty s tepelnou izolací tl. 50 mm v podlaze. U domů bez ní je možné očekávat pokles teplot při nepřetržitém chodu ventilátoru maximálně o 3 až 4 °C. Toto vše platí pro objekty na propustném podloží. U domů stavěných na středně až málo propustných zeminách je ovlivnění teplot pod domem ventilací daleko menší.

Porovnání výpočtu a výsledků měření

Z dlouhodobého měření tedy vycházejí pod podlahou objektů s tepelnou izolací tl. 50 mm v podlaze teploty v rozmezí 12 až 14 °C při venkovní teplotě 0 až 10 °C a vnitřní teplotě 21 až 22 °C. Zkusme porovnat tyto experimentální výsledky s numerickým hodnocením. Na obrázku 7 je vidět rozložení teplot pod podlahou příčného řezu rodinným domem v Milešově. Pro výpočet byla uvažována teplota 5 °C v zemině v hloubce 3 m pod terénem, venkovního vzduchu 5 °C a vnitřního vzduchu 22 °C. Z výpočtu vycházejí teploty v zemině pod podlahou v rozmezí 13,3 až 13,5 °C – velmi dobře tedy odpovídají zjištěným hodnotám.



Obr. 7. Teplotní pole pod příčným řezem RD v Milešově



Obr. 8. Teplotní pole pod RD v Milešově při podtlaku v podloží -25 Pa

Pro zajímavost ještě uvedme, jak by vypadalo vypočítané teplotní pole pod objektem, pokud by byl do výpočtu zaveden předpoklad podtlaku -25 Pa ve ventilačním systému pod podlahou. Na obrázku 8 je vidět teplotní pole deformované vlivem proudění vzduchu v podloží. Teploty pod podlahou se v tomto případě pohybují od $10,1$ do $11,8$ °C. Vycházejí tedy poněkud nižší než experimentálně zjištěná data.

Z porovnání výsledků výpočtu a experimentů nicméně vyplývá, že numerické modelování založené na ustáleném dvourozměrném či třírozměrném šíření tepla v zemině poskytuje výsledky dosti blízké realitě. Také předpoklad ČSN EN ISO 10211-1 [9], že v hloubce 3 m pod terémem je vhodné uvažovat celoročně teplotu rovnou průměrné roční teplotě venkovního vzduchu, odpovídá skutečnosti.

Článek byl podpořen výzkumným záměrem č. 1 MSM 210000001.

Jiránek, M. – Svoboda, Z.: Temperature Fields Below Structures with a Sub-Slab Ventilation System

This paper is aimed at explaining a method of calculation of temperature fields below buildings with sub-slab ventilation when combined heat transfer by both conduction and convection should be considered. The article analyzes the numerical solution in minute detail. It became a basis for the design of Wind2D program used for the calculation of pressure fields, air flow velocity, temperature fields, and the density of heat flows. The software was verified using experimentally measured temperatures below several buildings. The comparison of the calculation results and the experiment shows that numerical modelling based on stabilized 2D or 3D heat distribution in the soil provides results which are fairly close to reality.

Literatura

- [1] Schreyer, J. – Jiránek, M.: Zpráva pro 5. kontrolní den projektu „Vývoj nových stavebních protiradonových opatření a jejich hodnocení – aplikovatelnost lokálního odvětrání podlahy pod stávajícími stavbami“. Zadavatel SÚJB a MPO ČR, 2002.
- [2] Svoboda, Z.: Programy Area 2002 a Wind2D 2001. Kladno, 2000 – 2002.
- [3] ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podlahy. ČSN, 2000.
- [4] Jiránek, M.: Větrací systémy podlahy – efektivní ochrana proti radonu, Materiály pro stavbu, 2001, č. 5, s. 34–36.
- [5] Svoboda, Z.: The Analysis of the Convective-Conductive Heat Transfer in the Building Constructions. In: Proceedings of the 6th International IBPSA Conference, Kyoto, 1999, Vol. 1, pp. 329–335.
- [6] Zienkiewicz, O. C. – Taylor, R. L.: The Finite Element Method, Fourth Edition. London, McGraw-Hill 1991.
- [7] Vyhláška č. 307 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany. SÚJB, 2002.
- [8] ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody. ČSN, 1999.
- [9] ČSN EN ISO 10211-1 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchová teplota – Část 1: Základní výpočtové postupy. ČSN, 1997.

Jiránek, M. – Svoboda, Z.: Temperaturfelder unter Gebäuden mit einem Belüftungssystem des Untergrundes

Der Beitrag bringt die Art und Weise der Berechnung von Temperaturfeldern unter Gebäuden mit einem Untergrund-Belüftungssystem nahe, wo es notwendig ist, eine kombinierte Wärmeübertragung durch Konduktion und Konvektion in Betracht zu ziehen. Es wird ausführlich die numerische Lösung analysiert, auf deren Grundlage das Programm Wind2D gebildet worden ist, das die Berechnung von Druckfeldern, Strömungsgeschwindigkeiten der Luft, Wärmefeldern und Wärmestromdichten ermöglicht. Die Überprüfung des Programms wurde mittels experimentell ermittelter Wärmewerte unter mehreren Häusern vorgenommen. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der Berechnung und der Versuche ging hervor, das die auf der zwei- bzw. dreidimensionalen stetigen Wärmeausbreitung in der Erde basierende numerische Modellierung ziemlich wirklichkeitsnahe Ergebnisse bringt.

• dizertace



The Synergy Effect and its Practical Use in the EU Project MURBANDY

Ing. Alice Pátková

Synergický efekt byl zkoumán na modelovém území Bratislavy. Hodnoceny byly efekty získané porovnáním bází z oblastí GIS, GPS, internetu, fotogrammetrie a dálkového průzkumu Země.

Zlepšování zemin. Štěrkové pilíře a hlubinné zhutňování

Ing. Jakub Zavoral

Výsledkem práce jsou doporučené frekvence vibrátorů pro zeminy s určitými moduly deformace. Byla stanovena vlastní frekvence kmitající zeminy s různými objemy a dynamický součinitel pro různé zeminy. Je odvozena jednoduchá metoda pro návrh štěrkových pilířů.

SOUTĚŽ

Česká společnost pro ocelové konstrukce a Slovenská spoločnosť pre ocelové konštrukcie vyhlasujú pri príležitosti konání 20. české a slovenské konference Ocelové konstrukce a mosty 2003 (17. až 20.9.2003 v Praze) již 10. ročník soutěže „O nejlepší realizovanou stavbu s ocelovou konstrukcí v ČR a SR v období 2000–2003“.

Kategorie:

- mosty, věže a stožáry
- průmyslové a technologické konstrukce, rekonstrukce
- občanské a sportovní stavby

Informace:

I. K. SKYVA, s. r. o., Ing. Jiří Skyva, Skořepka 4, 602 00 Brno.

Uzávěrka podání přihlášky: 1.7.2003.

Vlhkostní parametry cementového kompozitu vyztuženého uhlíkovými vlákny

RNDr. Jaroslava DRCHALOVÁ, CSc.
 prof. Mgr. Jan TOMAN, DrSc.
 prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

V článku je hodnocen vliv tepelného a mechanického namáhání cementového kompozitu vyztuženého uhlíkovými vlákny na transport vlhkosti v kapalně fázi. Na základě zjištěných hodnot součinitele vlhkostní vodivosti můžeme konstatovat, že rozhodujícím faktorem je teplota, rozdíl mezi 25 °C a 1 000 °C činí až dva řády, zatímco tahové namáhání způsobuje při dané teplotě zvýšení maximálně půl řádu.

Úvod

Studovali jsme vlhkostní parametry cementového kompozitu vyztuženého uhlíkovými vlákny, především součinitel vlhkostní vodivosti v celém vlhkostním rozsahu, a jeho závislost na tepelném a mechanickém namáhání.

Metoda určení součinitele vlhkostní vodivosti

Jeden ze základních parametrů, který charakterizuje přenos vlhkosti v kapalně fázi, je součinitel vlhkostní vodivosti κ . Pro jeho výpočet jsme použili jednu z nestacionárních metod, metodu Matanovu [1]. Jako všechny přímé metody vychází z jednorozměrného řešení difúzní rovnice (1), která popisuje přenos vlhkosti v kapilárně porézních látkách za izotermních podmínek

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla(\kappa(u)\nabla u). \quad (1)$$

Hmotnostní vlhkost u je dána vztahem

$$u = \frac{m_v - m_s}{m_s}, \quad (2)$$

kde m_v je hmotnost vlhkého a m_s je hmotnost suchého vzorku.

Experiment spočívá v určení křivek navlhání, tj. vlhkosti podél osy vzorku $u(x, t)$. Obvyklé uspořádání: vzorek ve tvaru tyče (její délka je v porovnání se dvěma ostatními rozměry řádově větší) je na jednom konci napájen vodou, druhý konec je vystaven působení vzduchu stejné relativní vlhkosti, jaká je v pórech vzorku na počátku experimentu. Při přenosu vlhkosti pouze v jednom směru je nutné zabránit odpařování vody na zbývajících stěnách vzorku, to je zajištěno parotěsnou a vodotěsnou izolací vzorku po všech stranách kromě čel.

Matanova metoda vychází ze znalosti jedné křivky navlhání a času od počátku experimentu odpovídajícího této křivce. Metoda využívá Boltzmannovy transformace, kterou je možné použít v případě krátkých časů, kdy se ještě neuplatňuje okrajová podmínka na suchém konci vzorku. Výhoda Boltzmannovy transformace spočívá v tom, že převádí řešení parciální diferenciální rovnice (1) na řešení obyčejné diferenciální rovnice. Tuto rovnici nelze sice řešit

analyticky pro nekonstantní $\kappa(u)$, ale numerické řešení obyčejné diferenciální rovnice je mnohem jednodušší než řešení parciální diferenciální rovnice. Pokud tedy známe rozložení vlhkosti $u(x)$ v jistém čase t , můžeme součinitel vlhkostní vodivosti vypočítat ze vztahu

$$\kappa(u(x)) = \frac{1}{2tu'(x)} \int_x^\infty \xi u'(\xi) d\xi, \quad (3)$$

kde $u'(x)$ je derivace vlhkosti podle prostorové souřadnice.

Experimentální část

Měření bylo provedeno na vzorcích cementového kompozitu vyztuženého uhlíkovými vlákny, což je deskový materiál s matricí na bázi portlandského cementu vyztuženou uhlíkovými vlákny. Složení vzorku [%]: portlandský cement (CEMI 52,5) 39,71, mikrodorsilit 16,5, wollastonit 39,6, mikrosilica 1,96, metylcelulosa 0,11, superplastifikátor 0,98, uhlíkové vlákno na bázi směly 0,98, odpeňovač 0,16.

Vlhkostní parametry byly určovány na materiálu nenamáhaném a namáhaném tepelně, mechanicky a kombinovaně. Měli jsme k dispozici pět sad vzorků, které byly podrobeny různému typu namáhání:

- bez namáhání,
- pouze tepelné (600, 800 a 1 000 °C),
- pouze mechanické,
- mechanické a následně tepelné,
- tepelné a následně mechanické.

Vypalování probíhalo při teplotách 600, 800 a 1 000 °C. Teplota rostla postupně z pokojové (rychlost zahřívání přibližně 100 °C za 10 minut), při dané teplotě byl materiál 120 minut temperován a opět pozvolna chladl v peci.

Materiál byl podroben mechanickému namáhání v tahu až do 70 % meze své pevnosti. Ta byla určena měřením vybraných vypálených i nevypálených vzorků až do jejich destrukce.

Vzorky měly tvar tyče o rozměrech 10 x 40 x 150 až 300 mm. Plášť byl opatřen izolepou, jedno čelo tyče bylo v kontaktu s vodou prostřednictvím viskózní houby, druhý konec byl vystaven působení vzduchu. Sání probíhalo ve vertikální poloze a trvání experimentu bylo dostatečně krátké, takže podmínky platnosti Boltzmannovy transformace byly splněny. K určení vlhkostních profilů je třeba znát vlhkost podél vzorku. Byla použita metoda gravimetrická, vzorek byl rozřezán po 1 cm kolmo na směr šíření vlhkosti.

Výsledky měření a diskuze

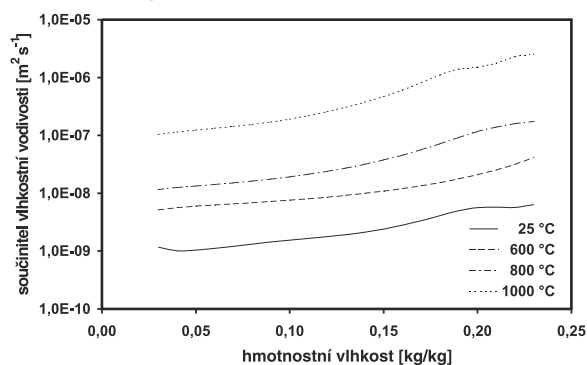
Součinitel vlhkostní vodivosti a maximální nasákovost u_{\max} jsme určili pro materiál nenamáhaný a podrobený všem uvedeným typům namáhání. Experimentální hodnoty křivek navlhání byly aproximovány metodou lineární filtrace s gaussovskými vahami [2]. Hodnoty součinitele vlhkostní

Tab. 1. Závislost maximální nasákovosti u_{\max} na teplotě vypalování

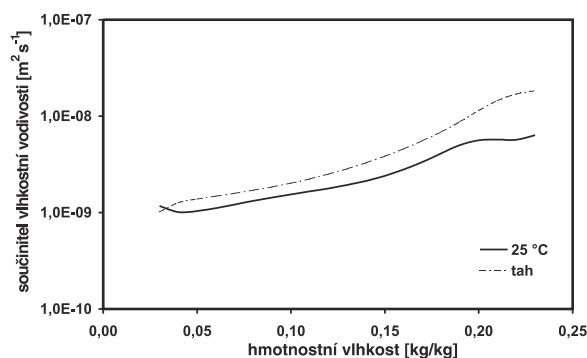
Teplota [°C]	25	600	800	1000
u_{\max} [%]	25,0	27,5	28,0	29,5

vodivosti byly určeny v rozsahu 3 až 23 %. Na obrázcích 1 až 5 je uveden typický průběh pro všechny typy namáhání.

Namáhání jakéhokoli typu (působení vysokých teplot nebo tahu) vede k narušení struktury porézního materiálu, což se může projevit ve změně přenosu vlhkosti. Mohou se tedy objevit změny v hodnotách jak součinitele vlhkostní vodivosti (obr. 1 až obr. 5), ale i maximální nasákovosti (tab. 1). Rozdíly v hodnotách maximální nasákovosti pro tři různé typy namáhání (pouze vypálení, tah a vypálení, vypálení a tah) nejsou výrazné, v tabulce jsou uvedeny jejich střední hodnoty.



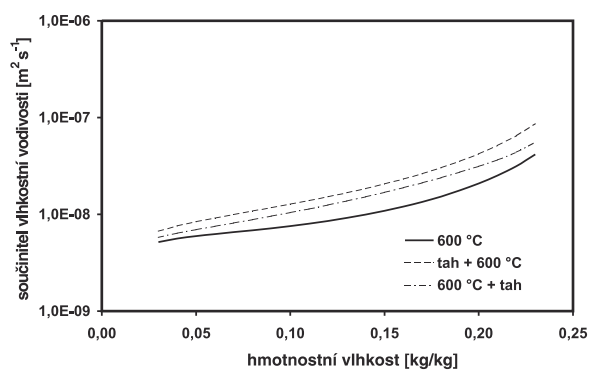
Obr. 1. Závislost součinitele vlhkostní vodivosti na teplotě



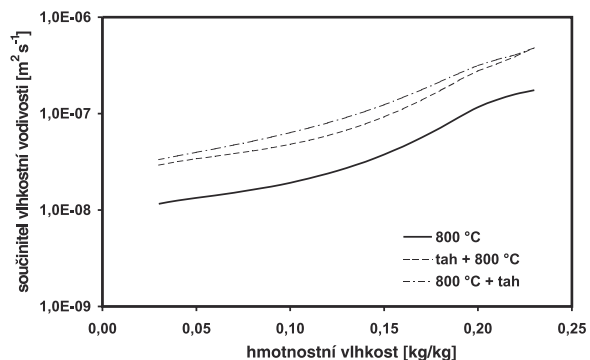
Obr. 2. Součinitel vlhkostní vodivosti nenamáhaného materiálu a namáhaného tahem

S rostoucí teplotou vypalování hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti vzrůstají (obr. 1). Ke značnému nárůstu dochází už při 600 °C (více než půl řádu). Mezi pokojovou teplotou a teplotou vypalování 800 °C činí rozdíl zhruba jeden řád, další řádový rozdíl je mezi 800 a 1 000 °C. Toto porovnání platí pro hmotnostní vlhkost kolem 10 %, obdobné rozdíly však nalezneme i pro 5 a 15 % vlhkosti. Maximální nasákovost s rostoucí teplotou rovněž roste a zhruba kopíruje změny v hodnotách součinitele κ . Největší nárůst je mezi pokojovou teplotou a teplotou vypalování 600 °C (zhruba 10 %), k dalšímu výraznějšímu skoku dochází mezi teplotami 800 a 1 000 °C (kolem 5,5 %). Celkový nárůst maximální nasákovosti není příliš dramatický (mezi 25 a 1 000 °C asi 18 %), z toho můžeme usuzovat na pozitivní efekt uhlíkových vláken, která i při vysokých teplotách vypalování zpevňují strukturu cementové matrice.

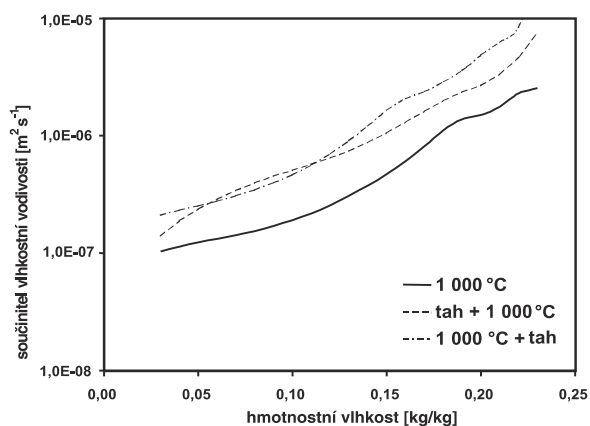
Nárůst hodnot součinitele vlhkostní vodivosti a maximální nasákovosti můžeme přisoudit dvěma zásadním strukturálním změnám, ke kterým dochází při vysokoteplotním



Obr. 3. Součinitel vlhkostní vodivosti materiálu vypáleného na 600 °C a namáhaného tahem



Obr. 4. Součinitel vlhkostní vodivosti materiálu vypáleného na 800 °C a namáhaného tahem



Obr. 5. Součinitel vlhkostní vodivosti materiálu vypáleného na 1 000 °C a namáhaného tahem

namáhání cementového gelu, rozklad $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (přibližně 460 °C) a rozklad gelu C-S-H (mezi 700 a 800 °C). Plynné produkty chemických rozkladných reakcí (vodní pára a oxid uhličitý) mohou způsobit vznik lokálního přetlaku v systému pórů, a následně vznik trhlin, tedy zvětšení pórového prostoru ve vzorku. Růst podílu větších pórů usnadňuje přenos vlhkosti zejména v kapalném stavu. Významný nárůst součinitele vlhkostní vodivosti mezi 800 a 1 000 °C je způsoben s největší pravděpodobností vyhořením uhlíkových vláken.

Materiál byl podroben rovněž namáhání tahem. Obrázek 2 ukazuje, že vliv mechanického namáhání na součinitel vlhkostní vodivosti není výrazný, jeho vzrůst činí přibližně 10 %. Tento výsledek je předvídatelný, protože trhliny způsobené vypalováním jsou vždy širší než trhliny způsobené tahem a hodnoty součinitele κ jsou ovlivněny více jejich šířkou než počtem.

Zbývající obrázky ukazují vliv kombinovaného namáhání, tj. tepelného a mechanického, při teplotách 600, 800 a 1 000 °C (obr. 3 až obr. 5). Ukazuje se, že při kombinovaném namáhání je součinitel κ větší než v případě samotného vypalování při stejné teplotě. Rozdíly dosahují zhruba čtvrt řádu u teploty 600 °C a až půl řádu při teplotách 800 a 1 000 °C. Diference mezi oběma typy kombinovaného namáhání (nejdříve protažení, a pak vypálení, nebo vypálení a následné protažení) jsou z hlediska výsledků měření součinitele vlhkostní vodivosti nepodstatné, tj. v rámci chyb měření.

Závěr

Na základě získaných výsledků můžeme konstatovat, že uhlíková vlákna podstatně zlepšují vlastnosti sledovaného kompozitního materiálu na bázi cementové matrice. Jejich přínos se projevuje ve změnách hodnot součinitele vlhkostní vodivosti po tepelném a mechanickém namáhání. Rozdíly

hodnot u nenamáhaného a namáhaného materiálu jsou v případě tohoto cementového kompozitu výrazně nižší než u cementové malty bez výztuže (nárůst tří řádů mezi teplotami 25 až 800 °C) [3].

Článek vznikl za podpory MŠMT ČR (výzkumný záměr č. J04/98:210000004).

Literatura

- [1] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. Jap. J. Phys. 8, 109–113 (1933).
- [2] Hamming, R. W.: The Numerical Methods for Scientists and Engineers. New York, McGraw-Hill 1962.
- [3] Černý, R. – Maděra, J. – Poděbradská, J. – Drchalová, J. – Toman, J. – Klečka, T. – Jurek, K. – Rovnaníková, P.: The Effect of Thermal and Mechanical Load on the Hygric Properties of Concrete. In: Cement and Concrete Technology in the 2000 S. Ankara: TCMA, 2000, pp. 341–350. ISBN 975-8136-09-7.

Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R.: Hygric Parameters of Carbon Fibre Reinforced Cement Composite

The effect of thermal and mechanical load on liquid water transport in a carbon fibre reinforced cement composite is studied in this paper. On the basis of the measured values of moisture diffusivity κ it can be concluded that the deciding factor is the temperature, which the material is subjected to. The differences in κ between 25 °C and 1000 °C exposure are found to be up to two orders of magnitude while the mechanical load in tension leads to only about one half of an order of magnitude increase in κ .

Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R.: Feuchtigkeitsparameter von Zementwitterwerkstoff mit Kohlenstofffasern

Im Artikel wird der Einfluss von thermischen und mechanischen Beanspruchungen von Zementwitterwerkstoffen mit Kohlenstofffasern auf den Transport von Feuchtigkeit im flüssigen Aggregatzustand bewertet. Auf Grund der ermittelten Werte des Feuchtigkeitsleitkoeffizienten kann man feststellen, dass der entscheidende Faktor die Temperatur ist. Die Unterschiede zwischen 25 und 1000 °C betragen bis zu zwei Größenordnungen, während eine Zugbeanspruchung bei einer gegebenen Temperatur eine Erhöhung um maximal eine halbe Größenordnung verursacht.

Předpisy o posuzování vlivů na životní prostředí s komentářem

Petržílek, P. – Guth, J. – Týcová, G.

Nakladatelství ARCH, Praha, 2002, 152 s., 290 Kč

Publikace obsahuje zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), který se stal platnou součástí našeho právního řádu dne 20. března 2001. Dále zákon č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů rozvojových koncepcí a programů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů, a prováděcí vyhlášku k těmto zákonům. U všech uvedených předpisů jsou rozsáhlé komentáře.

Stručně k obsahu nového zákona lze říci, že jde o normu upravující především způsob a postup posuzování vlivů staveb a činností (souhrnně označených jako záměry), přičemž proti úpravě obsažené v zákoně č. 244/1992 Sb. již neobsahuje institut posuzování výrobků prováděného formou certifikace, neboť tato problematika je upravena v zákoně č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů.

Dále jsou do právní úpravy posuzování vlivů na životní prostředí (v souladu se Směrnicí Rady 97/11/EC novelizující Směrnicí Rady 58/337/EEC o posuzování vlivů určitých veřejných a soukromých projektů na životní prostředí) inkorporovány standardní etapy, a to zjišťovací řízení a stanovení rozsahu a obsahu posuzování formou zadání pro zpracování dokumentace o vlivech realizace záměru na životní prostředí na základě oznámením záměru a jeho zveřejnění. V souvislosti s tím je rozdělen předmět posuzování do dvou kategorií, přičemž záměry uvedené v kategorii I podléhají posouzení vždy a záměry uvedené v kategorii II jen pokud se tak stanoví ve zjišťovacím řízení. Tento mechanismus by měl přispět k odstranění stávajících nejasností, zda pro konkrétní záměr (popř. změnu záměru) má být použit proces posuzování vlivů na životní prostředí.

Významným krokem ke zvýšení efektivity ovlivňování celého procesu posuzování vlivů na životní prostředí je zapojení dotčených správních úřadů, dotčených obcí a veřejnosti do procesu posuzování již od zveřejnění oznámení záměru. Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, by měl přispět ke zvýšení úlohy preventivních opatření na ochranu životního prostředí, a současně také ke snížení nákladů spojených s procesem odstraňování škod na životním prostředí.

Metodika tisku v grafickém režimu

Ing. Dalibor BARTONĚK, CSc.
VUT – Fakulta stavební
Brno

V článku je popsána metodika tvorby bitové mapy pro tisk kresby ve vektorovém grafickém formátu. Jsou zde uvedeny dvě základní varianty bitové mapy pro 24jehličkovou a laserovou tiskárnu. Na těchto principech je založen tisk i na ostatních běžně používaných tiskárnách. Druhá část příspěvku pojednává o způsobu vytvoření bitové mapy pro konkrétní tiskárnu.

Úvod

Tisk v grafickém režimu patří k nejnáročnějším procesům ze všech tiskových úloh, a to především v případech, kdy grafický formát obrázku, který se má tisknout, neodpovídá principu činnosti dané tiskárny. Tato situace nastává, je-li kresba uložena ve vektorovém grafickém formátu, zatímco běžně používané tiskárny pracují na rastrovém (bitmapovém) principu. Celý úkol lze rozdělit do dvou etap:

- konverze vstupního vektorového grafického formátu na formát rastrový pro potřeby tisku;
- přenos bitmapového souboru vytvořeného v předchozím bodu do tiskárny (realizace tisku).

Cílem konverze je vytvoření bitové mapy kresby přizpůsobené výstupu na tiskárnu. Z hlediska grafického režimu můžeme běžně používané tiskárny rozdělit do kategorií:

- mozaikové s 9jehličkovou tiskací hlavou,
- mozaikové se 24jehličkovou tiskací hlavou,
- laserové.

Téměř všechny typy používají bitovou mapu koncepčně shodnou nebo velmi podobnou některé z uvedených variant. Například inkoustové tiskárny firmy Hewlett Packard pracují v grafickém režimu na podobném principu jako tiskárny laserové, zatímco inkoustové tiskárny ostatních výrobců emulují maticové 24jehličkové tiskárny.

Vytvoření bitové mapy kresby

Těžší práce v této části spočívá v analýze vstupního vektorového formátu. Protože jde o problematiku speciální, nebudeme se jí podrobně zabývat. Naznačíme jen základní princip transformace:

- ve vstupním vektorovém formátu HPGL hledáme postupně základní grafické prvky (bod, úsečku, kružnici, text) definované instrukcemi jazyka HPG;
- speciálními procedurami převedeme grafické prvky na úsečky (vektory);
- každou úsečku převedeme z vektorového tvaru do bitmapového ve dvou fázích:
 - a) převod parametrů entit ze souřadného systému (x, y) vstupního vektorového grafického formátu do souřadného systému tiskárny (X, Y) ,
 - b) rozkreslení prvků z vektorové do rastrové formy (rasterizace entit).

Další informace lze nalézt v publikacích [1] nebo [2]. Výsledkem analýzy je mimo jiné i komplexní identifikace grafických prvků (entit) včetně jejich vlastností (atributů).

Ad a) převod ze souřadného systému kresby do souřadného systému tiskárny probíhá podle transformačních vztahů

$$X = X_0 + A_{11}(x_p + x - x_{\min}) - A_{12}(y_p + y - y_{\min}), \quad (1)$$

$$Y = Y_0 - A_{21}(x_p + x - x_{\min}) + A_{22}(y_p + y - y_{\min}), \quad (2)$$

kde x_p , resp. y_p , je posun kresby v ose x , resp. y , vzhledem k počátku souřadnic,

X_0 , resp. Y_0 , jsou okraje kresby na tiskárně v ose X , resp. Y ,

x_{\min} , resp. y_{\min} , jsou hodnoty minimálních souřadnic kresby v ose x , resp. y ,

$$A_{11} = k_x M_x \cos(\alpha) / R_x,$$

$$A_{12} = k_y M_y \sin(\alpha) / R_y,$$

$$A_{21} = k_x M_x \sin(\alpha) / R_x,$$

$$A_{22} = k_y M_y \cos(\alpha) / R_y,$$

k_x , resp. k_y , je rozlišení (krok) vstupního grafického formátu,

M_x , resp. M_y , je měřítko kresby v ose x , resp. y ,

R_x , resp. R_y , je rozlišení tiskárny v ose x , resp. y :

– u mozaikové tiskárny 24 jehel

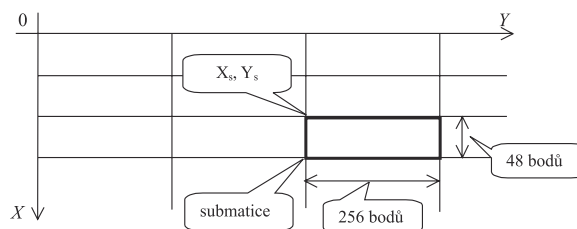
$$R_x = 25,6/360, R_y = 25,6/360 \text{ – plná hustota (kvalitní kresba),}$$

$$R_x = 25,6/180, R_y = 25,6/180 \text{ – poloviční hustota (koncept),}$$

– u laserové tiskárny

$$R_x = 25,6/r, R_y = 25,6/r, \text{ kde } r \text{ je konkrétní rozlišení tiskárny } r = 300/600 \text{ dpi atd.}$$

α je úhel natočení kresby.



Obr. 1. Koncepce bitové mapy pro 24jehličkovou tiskárnu

Pro názornost se podíváme na bitovou mapu 24jehličkové tiskárny na obr. 1. Orientace os je dána pohybem tiskové hlavy je osa Y , na delší (teoreticky nekonečné) straně formátu ve směru řádkování osa X . Celou efektivní plochu tiskárny si rozdělíme do submatic těchto rozměrů:

- 48 x 256 bodů u tiskáren s hlavou s 24 jehlami,
- 32 x 256 (u laserových tiskáren a inkoustových tiskáren firmy Hewlett Packard, které metodu laserového tisku emulují).

Protože jde o černobílý tisk nebo barevný tisk v základních barvách (CMY), popř. jejich inverzních kombinacích (prakticky model RGB), stačí mapovat 1 bod obrazu na 1 bit dat. Důvody:

– jde o členění do dlaždic. Je-li v submatici prvek, pak je zpracován. Neobsahuje-li submatice žádný prvek, pak se vůbec nemusí do souboru zařadit (úspora místa). Odpovídající místo se vyplní barvou pozadí;

– 48 bodů v ose X je zapotřebí pro tisk na 24jehličkové tiskárně v nejvyšší hustotě. Každý řádek ve vertikálním směru se tiskne dvakrát s mikroposunem 1/360". Data se

však do pole ukládají tak, že tři slabiky tvoří 1 řádek (24 bitů) jsou umístěny vedle sebe. Proto musíme definovat submatici o dvou řádcích a 3 x 256 sloupcích: S24 [0 ... 1, 0 ... 767];

– 32 bodů v ose X má submatici u laserové tiskárny nebo u tiskáren, které tento způsob tisku bitové mapy emulují (inkoustové tiskárny Hewlett Packard). Tato hodnota byla zvolena empiricky. V praxi se ukázalo, že jde o optimální hodnotu vzhledem k velikosti a rychlosti tvorby bitové mapy. U těchto tiskáren tiskne každá slabika současně 8 mikrosloupců (každý bit 1 mikrosloupec), což odpovídá 32 slabikám ($32 \times 8 = 256$). Submatici bude vypadat takto: S1 [0 ... 32, 0 ... 32];

– 256 bodů v ose Y je výhodné z hlediska rychlého převodu. Při transformaci lze v programu s výhodou využít vztahy:

$$X \text{ div } 256 = \text{Hi} (X)$$

(operace Hi je cca 4x rychlejší než operace div),

$$X \text{ mod } 256 = \text{Lo} (X)$$

(obdobně operace Lo je cca 4x rychlejší než operace mod).

Nevýhodou je, že pro každý bod bitové mapy se souřadnicemi (X, Y) musíme vypočítat (*obr. 1*):

- souřadnice submatice X_s, Y_s ,
- souřadnice slabiky (Byte) X_B, Y_B v rámci submatice,
- pozici bitu ve slabice L_b .

Tuto transformaci provede speciální procedura BOD (X, Y) se vstupními parametry X, Y (souřadnice bodu v bitové mapě tiskárny), která pracuje podle těchto vztahů:

- pro submatici S24 (24jehličková tiskárna):

- a) pozice submatice v bitové mapě:

$$X_s = X \text{ div } 48, \quad Y_s = \text{Hi} (Y)$$

- b) adresa slabiky v submatici:

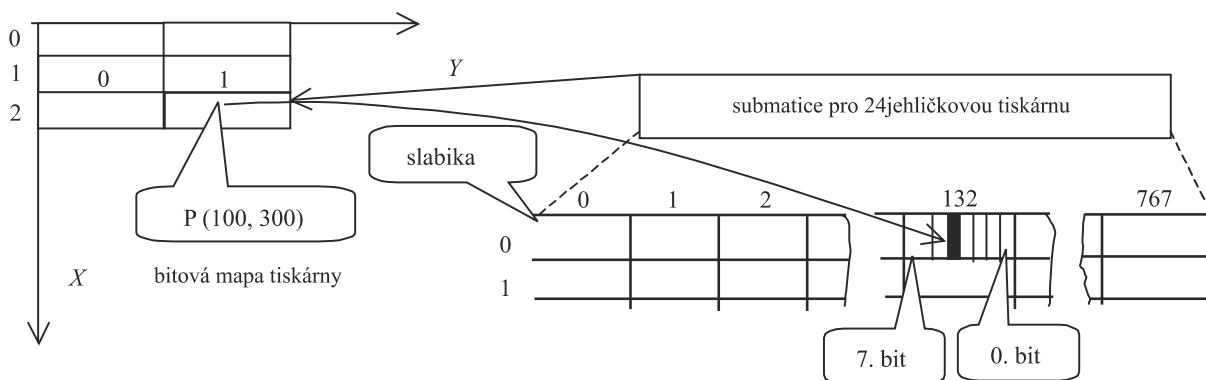
$$X_B = (X \text{ mod } 48) \text{ div } 24, \\ Y_B = 3 \times \text{Lo}(Y) + [(X \text{ mod } 48) \text{ mod } 24] \text{ shr } 3 \\ \text{pro nižší hustotu,} \\ X_B = (X \text{ mod } 48) \text{ and } 1, \\ Y_B = 3 \times \text{Lo}(Y) + [(X \text{ mod } 48) \text{ shr } 1] \text{ shr } 3 \\ \text{pro vyšší hustotu,}$$

- c) pozice bitu (bodu obrazu) ve slabice:

$$L_b = [(X \text{ mod } 48) \text{ mod } 24] \text{ and } 7 \\ \text{pro nižší hustotu,} \\ L_b = [(X \text{ mod } 48) \text{ shr } 1] \text{ and } 7 \\ \text{pro vyšší hustotu.}$$

Zápis daného bodu obrazu se souřadnicemi X, Y se provede do submatice o souřadnici X_s, Y_s příkazem:

$$\text{submat} [X_B, Y_B] = \text{submat} [X_B, Y_B] \text{ or } (128 \text{ shr } L_b)$$



Obr. 2. Transformace bodu $P(100, 300)$ do submatice pro 24 jehličkovou tiskárnu (výpočet indexů – menší hustota tisku)

- a) $X_s = 100 \text{ div } 48 = 2, Y_s = \text{Hi} (300) = 1$, b) $X_B = (100 \text{ mod } 48) \text{ div } 24 = 0, Y_B = 3 \times \text{Lo} (300) + [(100 \text{ mod } 48) \text{ mod } 24] \text{ shr } 3 = 132$
 c) $L_b = [(100 \text{ mod } 48) \text{ mod } 24] \text{ and } 7 = 4$

Tab. 1. Struktura souboru MATICE.NDX (index)

Název	Datový typ	Poznámka
řádek	LongInt	číslo řádku submatice
sloupec	LongInt	číslo sloupce submatice
barva	Byte	barva submatice
pozice	LongInt	ukazatel do souboru "Matice.dat" ↓

Tab. 2. Struktura souboru MATICE.DAT

Název	Datový typ	Poznámka
submatice	pole slabik	velikost podle typu tiskárny ↓

Operace $\text{Shr } 3$ je ekvivalentní operaci $\text{div } 8$, ale je rychlejší (jde jen o logický posun bez použití aritmetické jednotky). Podobně $\text{shr } 1$ je ekvivalentní $\text{div } 2$ a $\text{and } 1$ je ekvivalentní operaci $\text{mod } 2$, a konečně $\text{and } 7$ je ekvivalentní operaci $\text{mod } 8$. Příklad transformace bodu P se souřadnicemi $(100, 300)$ z bitové mapy do submatice pro 24jehličkovou tiskárnu s menším rozlišením tisku je na *obr. 2*.

Pro submatici S_1 (laserová tiskárna) použijeme vztahy:

- a) pozice submatice v bitové mapě:

$$X_s = X \text{ div } 32, \quad Y_s = \text{Hi} (Y),$$

- b) adresa slabiky v submatici:

$$X_B = (X \text{ mod } 32), \quad Y_B = (Y \text{ div } 8) \text{ mod } 32,$$

- c) pozice bitu (bodu obrazu) ve slabice:

$$L_b = Y \text{ mod } 8.$$

Zápis daného bodu obrazu se souřadnicemi X, Y se provede do submatice se souřadnicemi X_s, Y_s příkazem:

$$\text{submat} [X_B, Y_B] = \text{submat} [X_B, Y_B] \text{ or } (128 \text{ shr } L_b)$$

Pro uložení bitové mapy použijeme indexové sekvenční databázové soubory s názvem MATICE.DAT s indexem MATICE.NDX, které jsou organizovány podle *tab. 1* a *tab. 2*.

Ad b) vlastní rasterizace prvků probíhá podle osvědčených algoritmů. V našem případě jde o tři typy algoritmů:

- úsečky,
- oblouků, kružnic a křivek,
- textů.

Základem všech algoritmů je rasterizace úsečky, protože konverze oblouků, kružnic a křivek probíhá tak, že se tyto prvky nejdříve aproximují úsečkami (krok je implicitně 5°). Texty jsou v podstatě entity složené z úseček, oblouků, kružnic a křivek, takže situace je zde obdobná. Pro rasteri-

zaci úsečky použijeme Bresenhamův algoritmus [3]. Pro složitější kresbu však s tímto algoritmem nevystačíme, protože je třeba vyřešit:

- **tloušťku čar**, tj. vychází se z nejtenčí čáry, kterou je daná tiskárna schopna vytvořit. U jehličkových tiskáren je to přibližně 0,2 mm, u inkoustových asi 0,1 mm a u laserových 0,05 mm. Tlustší čáry se jednoduše skládají z čar tenkých, které se umísťují na základní středovou čáru střídavě z obou stran. Problémem zůstává jejich napojování. Pokud na sebe navazují pod jiným úhlem než 0 nebo 90°, pak čím jsou čáry tlustší, tím více působí spoj rušivě (obr. 3a). Proto byl vytvořen speciální algoritmus, který vytváří u tlustších čar zaoblené konce, takže spoje jsou bez přesahu (obr. 3b);



Obr. 3. Způsoby napojení tlustých čar
a – ostré zakončení, b – zaoblené zakončení

- **typy čar** (plná, čárkovaná, tečkovaná apod.) se generují tak, že mezi dva body, které se mají spojit, nanášíme těsně za sebou příslušné vzory čar. Pro každý typ čáry je definován vzor ve formě číselného pole konstant. Kladné číslo udává rozměr čárky, záporné číslo rozměr mezery. Rozměry jsou zapsány jako poměrné normalizované veličiny, přičemž délku vzoru považujeme za jednotkovou. Konkrétní délka vzoru čáry je odvozena od velikosti formátu papíru. Jednotlivé typy čar mají vzor definován takto:

[0.01, -0.98, 1.00, 0, 0, 0]	– tečkovaná čára,
[0.50, -1.00, 1.00, 0, 0, 0]	– čárkovaná čára s poměrem čárka/mezera 1 : 1,
[0.75, -1.00, 1.00, 0, 0, 0]	– čárkovaná čára s poměrem čárka/mezera 3 : 1,
[0.75, -0.87, 0.88, -1, 0, 0]	– čerchovaná čára,
[0.75, -0.833, 0.916, -1.0, 0.00, 0]	– čerchovaná čára s čárkou,
[0.75, -0.800, 0.850, -0.9, 0.95, -1]	– čerchovaná čára se dvěma čárkami.

Poslední vzor (čerchovaná čára se dvěma čárkami) se v programu interpretuje tak, že od začátku se nakreslí plná čára v délce 0,75 celého vzoru, pak následuje mezera od 0,75 do 0,80, tj. 0,05 délky vzoru, potom se nakreslí čárka od konce mezery do 0,85, tj. opět 0,05 délky vzoru, dále navazuje mezera od 0,85 do 0,90 (zase 0,05) délky vzoru, pak je opět čárka, a konec vzoru tvoří mezera 0,05 délky celého vzoru. V programu jsou dále ošetřeny případy, aby nedocházelo k napojování nebo lomení čar v mezerách vzorů;

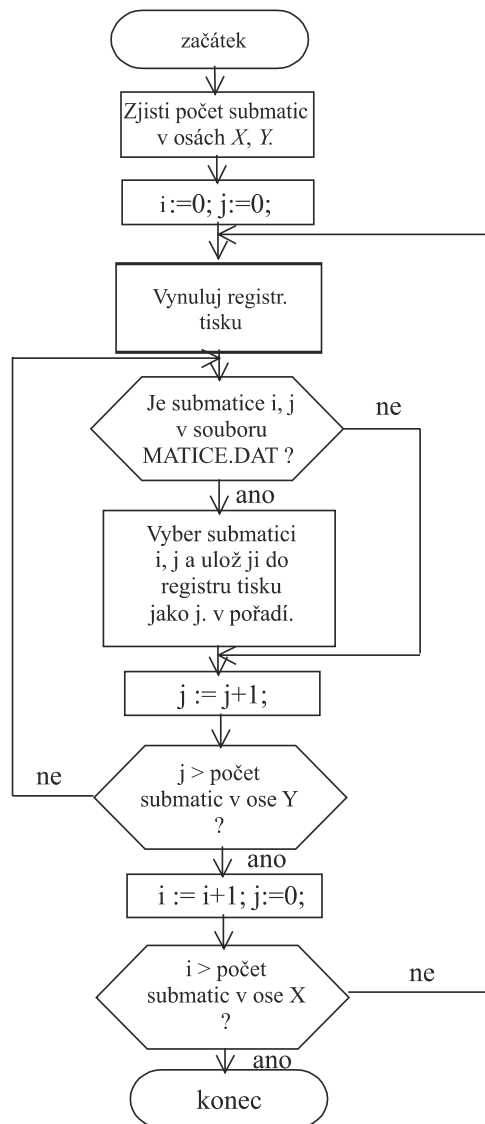
- **barvy čar** mimo základní paletu (CMY, RGB), např. hnědá nebo oranžová, kterou požadují např. geodetické kanceláře pro výkresy určené SPT Telecom. Jde o situaci, která se v počítačové grafice označuje termínem tónový tisk nebo rozptylování [3]. Protože u tiskáren (vyjma sublimačních) není možné regulovat množství barvy do jednoho bodu, lze vytvořit jen omezené barevné odstíny, tj. CMY + RGB + černá + bílá. Ve výkresech však potřebujeme např. hnědou (kreslení kanálů) nebo oranžovou (veřejné osvětlení). Dojem hnědé barvy vytvoříme tak, že nakreslíme čáru červenou (purpurová + žlutá) a každý pátý bod této čáry přebarvíme na černou. Podobně oranžovou získáme tak, že do červené čáry (purpurová + žlutá) přebarvíme každý pátý bod žlutou. Tato metoda dává uspokojivé výsledky, ale prodlužuje tisk (čáru musíme tisknout natřikrát).

Přenos bitmapového souboru do tiskárny

Tento proces má dvě základní části:

- **výběr submatic** ze souboru MATICE.DAT a jejich sestavení do registru tisku. Registr tisku je paměť na jeden grafický řádek tisku (1 grafický řádek je množina mikrořádků podle typu tiskárny – počet mikrořádků je totožný s počtem bodů ve sloupci submatice), jejíž velikost je dána formátem tiskárny (A4/A3), rozlišením kresby a uspořádáním slabik v submatici. Pro jednotlivé typy tiskáren (uvažujeme max. formát A3 a nejvyšší rozlišení) je zapotřebí definovat tyto registry tisku:

- Array T24 [1 ... 2, 0 ... 13 000] of byte; pro 24jehličkovou tiskárnu (6 slabik v ose X, z toho 2 prokládané a další 3 ve druhé dimenzi submatice, tj. v ose Y – viz obr. 2, v rozlišení 360 dpi je $3 \times 360 \times 297/25.4 = 12\,629$ zaokrouhleno na 13 000),
- Array Tlas [1 ... 32, 0 ... 630] of byte; pro laserovou tiskárnu (v ose X jen 1 slabika, v ose Y 1 slabika reprezentuje 8 bodů; v rozlišení 600 dpi, formát A4 je $300 \times 210/25.4/8 = 620$, zaokrouhleno na 630).



Obr. 4. Algoritmus naplňování registru tisku submaticemi ze souboru MATICE.DAT

Registr tisku se naplňuje ze souboru MATICE.DAT a MATICE.NDX podle algoritmu, který je znázorněn ve formě vývojového diagramu na obr. 4;

- vlastní tisk probíhá ve třech etapách:
 - tiskárnu je třeba uvést do výchozího stavu. K tomu je k dispozici řídicí posloupnost znaků uvozená znakem #27, tj. <ESC>. Proto se této posloupnosti říká posloupnost <ESC>. Každý typ tiskárny má vlastní posloupnost, např. jehličkové používají <ESC>@. Inicializační posloupnost i další příkazy pro řízení tisku dané tiskárnou by měly být uvedeny v programátorské příručce [4];
 - nastavení grafického režimu se rovněž provádí pomocí posloupnosti <ESC>, např. pro tiskárnu se 24jehličkami se tzv. „Hex Density“ (360 dpi) nastavuje posloupností #27*'#40. Opět doporučujeme podívat se do manuálu tiskárny [4];
 - přenos dat z registru tisku do tiskárny s následným tiskem jednoho grafického řádku probíhá ihned po přepnutí do grafického režimu jednoduše tak, že jednotlivé slabiky registru tisku, které tvoří 1 grafický řádek, se pošlou do tiskárny. Po vytisknutí grafického řádku se vydá příkaz k posunu:
 - o 1 mikrořádek při tisku v nejvyšším rozlišení. U tiskárny s 24 jehly (hustota 360 dpi) je to poprvé instrukcí #13#27+'#1#10 (posun o 1/360 inch v ose X), podruhé instrukcí #13#27+'#47#10,
 - 1 grafický řádek, např. v menším rozlišení (180 dpi) se u tiskárny s 24 jehličkami tiskne celý najednou a posuv na další je realizován instrukcí #13#27+'#48#10. U laserové tiskárny se také tiskne celý grafický řádek najednou a na další řádek se posouvá (ve směru osy X) automaticky tím, že se do posloupnosti <ESC> explicitně zadá počet slabik na 1 řádek, např. #27*'b'*#n'W', kde n je počet slabik na 1 řádek.

Závěr

Koncepce tvorby bitové mapy pro výstup na tiskárnu byla použita v programu HPGLPRIN [5]. Vstupním formátem byl soubor s kresbou v jazyku HPGL. V době, kdy převažoval operační systémem MS DOS, měl program poměrně značné využití, a to buď jako samostatný, nebo v různých aplikacích. Po nástupu operačních systémů typu WINDOWS již jeho uplatnění pozbylo smyslu, ale může sloužit jako metodická pomůcka pro snadnější pochopení tisku v grafickém režimu, protože je velmi pravděpodobné, že procedury pro grafický tisk zabudované do systému Windows pracují na podobných principech.

V programu HPGLPRIN je využíván i algoritmus pro tisk na tiskárně s 9jehličkovou tiskací hlavou, ale problematika tvorby bitové mapy i jejího tisku je složitější, protože jeho hustota se v ose x a y liší. Navíc se tyto tiskárny používají zřídka, proto se jimi tento článek nezabývá.

Literatura

- [1] Mana, Z.: Matematická teorie programů. Praha, SNTL 1981, 468 s.
- [2] Wirth, N.: Algoritmy a štruktúry údajov. Bratislava, ALFA 1989, 488 s.
- [3] Žára, J. – Beneš, B. – Felkel, P.: Moderní počítačová grafika. Praha, Computer Press 1998, 448 s.
- [4] Firemní manuály tiskáren – programátorská část.
- [5] Sedláček, S. – Bartoněk, D.: Program HPGLPRIN. [Uživatelská příručka], Brno, SHINE 1996.

Bartoněk, D.: Methods of Printing in the Graphical Format

This article deals with a method of bitmap creation used for printing in the vector graphical format. This paper presents two basic variants of bitmaps, including one for a 24-pin matrix and another for a laser printer. Printing on other commonly used printers is based on these principles as well. The other part of this paper describes a way of creating bitmaps for a specific printer.

Bartoněk, D.: Druckmethodik im Grafikregime

Dieser Artikel beschreibt ein Herstellungsverfahren einer Bitmatrize für den Druck einer Zeichnung im grafischen Vektorformat. Es werden hier auch zwei grundlegende Varianten von Bitmatrizen für 24-Nadel und Laserdrucker vorgestellt. Auf diesen Prinzipien beruht auch der Druck auf anderen gewöhnlich gebrauchten Druckern. Der zweite Teil des Artikels behandelt die Methode der Bitmatrizenausgabe an einen bestimmten Drucker.



Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze

si dovoluje oznámit,
že otevírá již IV. běh speciálního kurzu

GEOTECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ

Výuka v dvousemestrovém studiu formou dvoudenních soustředění (čtvrtek, pátek) bude probíhat jedenkrát za měsíc. Přijetí ke studiu bude potvrzeno na základě přihlášky. Kurz bude otevřen při minimálním počtu patnácti zájemců dne 27. 3. 2003. Náklady na studium hradí zájemci z vlastních zdrojů. Účastnický poplatek, stanovený podle počtu zájemců, by neměl přesáhnout 13 500 Kč (pro členy ČKAIT sleva 20 %).

Cílem výuky je prohloubení geotechnických znalostí stavebních inženýrů, seznámení s nejnovějšími poznatky a informacemi z oboru. Kurz bude ukončen vypracováním případové studie. Účastníci získají osvědčení o absolvování studia.

Informace: Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel. 224 354 557 pí. Picková, fax: 233 334 206, tel.: 224 354 542 doc. Jettmar, 224 354 353 ing. Reiser, e-mail: jettmar@fsv.cvut.cz, pickova@fsv.cvut.cz

Moderní optické metody měření vibrací v průmyslu – bodové techniky

Ing. Jiří NOVÁK
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek popisuje fyzikální princip optického bezkontaktního měření vibrací povrchů konstrukcí a konstrukčních částí v průmyslové praxi. Zaměřuje se na bodové techniky, které umožňují velmi přesně měřit dynamické změny tvaru měřeného objektu, tj. vibrace, v diskrétních bodech na jeho povrchu. Uvádí aplikace měřících zařízení z praxe včetně zřejmých výhod proti klasickým kontaktním metodám měření vibrací.

Úvod

V mnoha oblastech vědy a techniky je v současnosti nutné velmi přesně měřit a automaticky v reálném čase vyhodnocovat dynamické změny tvaru různých průmyslových či stavebních konstrukcí. **Vibrace** bodů povrchu měřeného objektu lze získat dvěma odlišnými způsoby, a to buď **kontaktním**, nebo **bezkontaktním**. Při prvním způsobu se vibrace získávají zejména pomocí kontaktních senzorů založených na časové změně měřitelných elektromagnetických veličin, jako je elektrické napětí, kapacita a indukčnost [1], [2], jež jsou úměrné měřeným vibracím. Jde o různé druhy akcelerometrů a kapacitních, indukčních a magnetických senzorů polohy, které musí být přiloženy nebo připevněny k vibrujícímu objektu. Jejich hlavní nevýhodou je nutnost mechanického kontaktu s měřeným objektem. Sensory svou hmotností a tuhostí mohou ovlivnit průběh a výsledky měření, jelikož se pohybují současně s objektem. Tyto metody je v podstatě nemožné použít rovněž v případech, kdy senzor nelze na objekt připevnit, ať již z důvodů technických (obtížně dostupná místa, miniaturní konstrukce měřeného objektu atd.), nebo proto, že by mohlo dojít k jeho zničení či vážnému poškození. Další nevýhodou může být to, že měření se provádějí pouze v několika určených bodech na povrchu objektu.

Na rozdíl od kontaktních se **bezkontaktní metody** vyznačují tím, že jsou nedestruktivní a přímo (mechanicky) měřený objekt neovlivňují. **Optické** bezkontaktní metody pro měření vibrací průmyslových konstrukcí vibrací jsou založeny na interakci optických vlnových polí, ať již koherentních, či nekoherentních, s povrchem měřeného objektu. Po odrazu od povrchu objektu jsou vlastnosti, např. fáze, amplituda, polarizace, takovýchto polí modifikovány. Na základě změny jejich fyzikálních vlastností je potom možné vhodnými metodami určit veličiny charakterizující vibrace měřeného povrchu, např. posunutí, rychlost nebo zrychlení bodů povrchu.

Existuje mnoho optických metod pro měření vibrací, které se odlišují principem měření. Mohou to být projekční techniky, které využívají projekce periodických struktur, např. proužků, na povrch měřeného objektu pomocí nekoherentních zdrojů záření a následného snímání kamerou CCD a vyhodnocování různými způsoby [3]. Dále jsou to metody využívající aproximace optických vlnových polí v rámci geometrické optiky [4]. U těchto metod se sleduje

změna geometrických parametrů tvarově definovaných optických svazků, které jsou po odrazu od vibrujícího předmětu detekovány optoelektronickými senzory polohy, např. maticovými s nábojově vázanou strukturou (CCD), nebo polohově citlivými detektory (PSD). V neposlední řadě je možné použít interferometrické metody, např. holografické interferometrie, dopplerovské interferometrie a spektrální interferometrie [5]–[7] založené na principu interference koherentních vlnových polí po interakci s povrchem měřeného objektu a následném automatickém vyhodnocení časového průběhu vibrací. Pro nesporné výhody jsou interferometrické metody v praxi značně rozšířené.

Dále se zaměříme na jednu z bezkontaktních optických metod – **laserovou dopplerovskou interferometrii**. Jak již z názvu vyplývá, je založena na principu Dopplerova jevu a na interferenčních vlastnostech světla. Spočívá ve vyhodnocování signálu časově proměnného interferenčního pole vzniklého superpozicí referenčního a předmětového vlnového pole, jehož frekvence je vzhledem k interakci s pohybujícím se měřeným objektem změněna o **dopplerovský posuv**. Touto metodou je možné měřit vibrace s amplitudou v řádu 10^{-9} m a rozsahu frekvencí do několika megahertzů. Pro měření se používá koherentní zdroj záření – laser.

Laserová dopplerovská interferometrie

Nejprve si stručně připomeňme teorii Dopplerova jevu pro elektromagnetické vlny. Na základě Lorentzovy transformace lze dokázat, že pro transformaci frekvence f a směru šíření \mathbf{n} rovinné elektromagnetické vlny platí vztahy [8]

$$f' = f\alpha(1 - \beta\mathbf{n}),$$

$$\mathbf{n}' = \frac{1}{\alpha(1 - \beta\mathbf{n})} \left[\mathbf{n} - \alpha\beta + \frac{(\alpha - 1)\beta \otimes \beta}{\beta^2} \mathbf{n} \right], \quad (1a)$$

$$f = f'\alpha(1 + \beta\mathbf{n}'),$$

$$\mathbf{n} = \frac{1}{\alpha(1 + \beta\mathbf{n}')} \left[\mathbf{n}' + \alpha\beta + \frac{(\alpha - 1)\beta \otimes \beta}{\beta^2} \mathbf{n}' \right], \quad (1b)$$

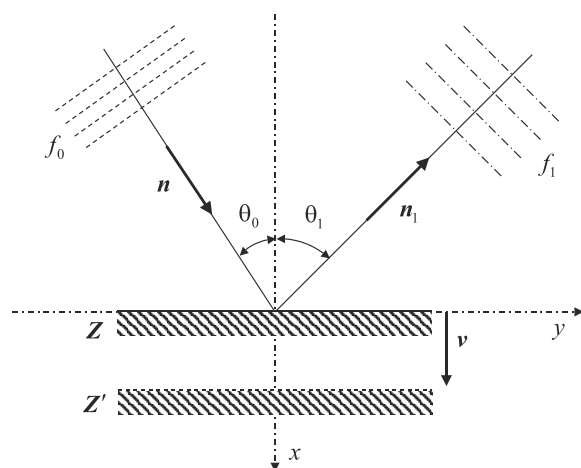
kde

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \beta = (\beta_x, \beta_y, \beta_z) = \frac{\mathbf{v}}{c}$$

a kde dále f' je frekvence zdroje elektromagnetického záření v inerciální soustavě S' , jež se vůči pozorovateli, spojeném se vztažnou soustavou S , pohybuje rychlostí \mathbf{v} , f je frekvence vlnění měřená pozorovatelem, c je rychlost světla a \mathbf{n} , resp. \mathbf{n}' , jsou normálové vektory k vlnoploše v soustavě S , resp. S' .

Nyní se zaměříme na situaci, která nastává při dopadu a odrazu rovinné elektromagnetické vlny na pohybující se rovinném zrcadle. Jak uvidíme dále, je tento modelový příklad obdobný situaci, která nastává při zkoumání vibrací povrchu měřeného objektu.

Provedeme určité zjednodušení vztahů (1) tím, že budeme uvažovat nepohyblivou soustavu souřadnou S , vůči které se druhá inerciální soustava S' (zrcadlo) pohybuje rychlostí \mathbf{v}



Obr. 1. Transformace vlastností rovinné vlny po odrazu od pohybujícího se zrcadla

podél kladné osy x . Vzájemná poloha souřadných soustav S a S' byla zvolena tak, že osy x a x' spolu splývají a osy y, z a y', z' jsou navzájem rovnoběžné. Jednotkový směrový vektor normály k vlnoploše $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z) = (\cos\theta_0, \sin\theta_0, 0)$ dopadající rovinné vlny ležící v rovině xy svírá s kladným směrem osy x úhel $\theta_0 < \pi/2$ (obr. 1). Využitím transformačních vztahů (1) pro přechod mezi souřadnými soustavami S (pozorovatel) a S' (zrcadlo) a uvážením zákona odrazu od nepohyblivého zrcadla pro dopadající rovinnou vlnu, kdy se frekvence vlnění nemění a úhel odrazu je roven úhlu dopadu, dostáváme pro transformaci frekvence a směru odražené vlny pro nerelativistický případ, tj. $\beta = v/c \ll 1$ [8]

$$\begin{aligned} f_1 &= f_0(1 - 2\beta \cos\theta_0) = f_0(1 - 2vn/c), \\ n_{x1} &= \cos\theta_1 = -\cos\theta_0 + 2\beta(\sin\theta_0)^2, \\ n_{y1} &= \sin\theta_1 = \sin\theta_0(1 + 2\beta \cos\theta_0). \end{aligned} \quad (2)$$

kde f_0 je frekvence dopadajícího vlnového pole, f_1 je frekvence odraženého vlnového pole a θ_1 je úhel, který svírá normála k ploše rovinného zrcadla se směrovým vektorem šíření odražené vlny $\mathbf{n}_1 = (n_{x1}, n_{y1}, n_{z1})$. Toto jsou obecné vztahy pro zákon odrazu rovinné vlny od zrcadla, které se pohybuje rychlostí $v \ll c$. Podrobnější odvození uvedených vztahů (2) může čtenář nalézt ve specializované literatuře věnující se teorii elektromagnetického pole a speciální teorii relativity [3]. Ke stejnému vztahu pro změnu frekvence odraženého světla lze dojít též úvahou popsanou v [8].

Jak je z uvedených vztahů zřejmé, vlna od pohybujícího se zrcadla se odráží pod větším úhlem než od nepohyblivého se zrcadla a frekvence odraženého vlnění je menší než frekvence vlnění dopadajícího. Vzdaluje-li se tedy měřený objekt, frekvence odraženého vlnění se snižuje, a naopak, jestliže se měřený objekt přibližuje, potom se frekvence zvyšuje. Vztahy (2) nacházejí uplatnění v mnoha měřicích přístrojích a zařízeních v technické praxi, např. u laserových vibrometrů, radiolokačních systémů.

Nyní se zaměříme na využití získaných poznatků v oblasti měření vibrací. Metoda měření využívající Dopplerova jevu byla rozvinuta na základě dopplerovského bezkontaktního měření rychlosti proudění tekutin. Zdroj koherentního záření a princip optické heterodynní detekce [3], [9] se využívá k demodulaci dopplerovského posuvu frekvence vlnového pole, které je po odrazu od měřeného povrchu detekováno a analyzováno vhodnými metodami. Laserové

dopplerovské vibrometry umožňují měřit bezkontaktním způsobem rychlost a absolutní posunutí měřených bodů na povrchu vibrujícího objektu. Fyzikálním principem měření je sledování změny frekvence odraženého světla od pohybujícího se měřeného objektu. Tato frekvenční změna je popsána vztahy (2). V praxi lze často malou část povrchu objektu v místě, od kterého se laserový svazek odráží, považovat za rovinné zrcadlo s jistou mírou odrazivosti, přičemž odrazivost měřeného povrchu se může zvětšit speciálními materiály, např. odraznou fólií, zrcátkem. Vlnové pole dopadající na tuto malou plochu můžeme též aproximovat pomocí rovinných vln. Máme tedy situaci obdobnou modelovému příkladu. Předpokládaná frekvence měřených mechanických vibrací je v porovnání s frekvencí optického záření v daném prostředí zanedbatelná, a tudíž je možné považovat pohybující se zrcadlo v daném okamžiku za inerciální soustavu, jež se pohybuje rychlostí v vůči pozorovateli. Potom je možné použít obecné rovnice (2), popisující dopplerovskou změnu frekvence odraženého záření, k vyšetřování okamžité rychlosti měřené oblasti na povrchu sledovaného objektu.

Vibrometry pracují na principu laserové dopplerovské interferometrie. Záření z laseru je rozděleno na dva svazky, z nichž jeden interaguje s měřeným vibrujícím předmětem, který na základě Dopplerova jevu změní jeho frekvenci. Tento svazek poté interferuje s referenčním svazkem a společně vytvářejí interferenční strukturu, která je zachycena vhodným detektorem optického záření. Časově proměnné interferenční pole zahrnuje informaci o dopplerovském posuvu frekvence $\Delta f_D(t)$, jenž je přímo úměrný rychlosti pohybu $v(t)$ měřeného předmětu, a fáze $\varphi(t)$ interferenčního pole nese informaci o posunech $d(t)$ předmětu v měřeném místě povrchu. Jako zdroj záření se používá nejčastěji laser He-Ne nebo některý polovodičový laser s výkonem několika miliwattů v kontinuálním režimu. Předpokládejme, že **referenční** a **předmětové** vlnové pole jsou lineárně polarizovaná se shodným směrem polarizace. Potom můžeme psát:

- referenční vlnové pole

$$U_R = A_R \cos(2\pi f_R t + \varphi_R), \quad (3)$$

- předmětové vlnové pole

$$U_O = A_O \cos(2\pi f_O t + \varphi_O), \quad (4)$$

kde A_R a A_O jsou amplitudy, f_R a f_O jsou frekvence, φ_R a φ_O jsou počáteční fáze uvedených vlnových polí. Výsledné interferenční vlnové pole U vzniká superpozicí referenčního a předmětového pole, tj. pro intenzitu tohoto vlnění platí [5], [9]

$$\begin{aligned} I = |U|^2 &= |U_R + U_O|^2 = A_R^2 \cos^2(2\pi f_R t + \varphi_R) + \\ &+ A_O^2 \cos^2(2\pi f_O t + \varphi_O) + A_R A_O \cos[2\pi(f_R + f_O)t + \psi] + \\ &+ A_R A_O \cos[2\pi\Delta f_D t + \psi], \end{aligned} \quad (5)$$

kde pokud

$$\begin{aligned} f_R > f_O &\Rightarrow \Delta f_D = f_R - f_O \text{ a } \psi = \varphi_R - \varphi_O, \\ f_R < f_O &\Rightarrow \Delta f_D = f_O - f_R \text{ a } \psi = \varphi_O - \varphi_R. \end{aligned}$$

První tři členy vztahu (5) reprezentují oscilace intenzity interferenčního pole s vysokými frekvencemi $2f_R$, $2f_O$ a $(f_R + f_O)$. Tyto frekvence jsou při užití běžných koherentních zdrojů světla, např. laseru He-Ne, v řádu 10^{14} až 10^{15} Hz. Tak vysoké frekvence není možné demodulovat přímo ze záznamenaného interferenčního signálu vzhledem k detekční době současných detektorů optického záření. Fotoelektrické detektory mají detekční čas řádově 10^{-10} s, a neumožňují

tedy měřit okamžitou hodnotu intenzity vlnového pole, ale pouze zaznamenat časovou střední hodnotu energie za detekční čas. Pokud tedy provedeme časové středování intenzity vlnového pole, potom se uvedené vysokofrekvenční členy projeví pouze jako konstantní člen ve výsledném detekovaném interferenčním signálu. Naopak, poslední člen ve vztahu (5) osciluje s frekvencí, která je rovna rozdílu f_R a f_O . Tyto oscilace mohou být již detekovány běžnými detektory optického záření, jelikož dopplerovský frekvenční posuv Δf_D , způsobený běžnými rychlostmi pohybu povrchu měřeného objektu, je řádově v rozmezí několika megahertzů. Pro výsledné rozdělení intenzity interferenčního pole, detekované v bodě r , lze potom psát

$$I(\mathbf{r}, t) = A(\mathbf{r}) + B(\mathbf{r}) \cos [2\pi \Delta f_D(t) t + \psi(\mathbf{r})], \quad (6)$$

kde $A(\mathbf{r})$, $B(\mathbf{r})$ jsou časově konstantní členy vyjadřující střední hodnotu signálu a jeho modulaci a $\Delta f_D(t)$ je dopplerovský posuv frekvence, který přímo souvisí s rychlostí pohybu měřeného povrchu (2) v daném čase t . Vzhledem k tomu, že fotoproud i generovaný v polovodičovém detektoru optického záření je přímo úměrný optickému výkonu dopadajícího záření, lze pro měřený signál psát v obdobném tvaru jako (6), tj.

$$i(t) = a + b \cos [2\pi \Delta f_D(t) t + \psi], \quad (7)$$

Tento signál lze vyhodnocovat běžným způsobem používaným při demodulaci frekvenčně modulovaných rádiových signálů [10], např. použitím oscilátoru PLL (Phase-Locked Loop). Vyhodnocením a zpracováním signálu (7) lze tak zjistit dopplerovský posuv frekvence, který již přímo souvisí s rychlostí a posunutím povrchu vibrujícího objektu v daném okamžiku a v daném místě.

Z předchozího popisu fyzikálního principu metody je zřejmé, že vyhodnocováním interferenčního signálu (7) je možné měřit velikost vektoru rychlosti, ale nelze získat informaci o změně směru pohybu, neboť dopplerovský frekvenční posuv nezávisí na směru rychlosti. Zaznamenaný frekvenční posuv tedy nezáleží na tom, zda se měřený objekt vzdaluje či přibližuje danou rychlostí vzhledem k místu pozorování. Další nevýhodou takového uspořádání je nemožnost měřit velmi malou rychlost vibrací, tj. v případě, blíží-li se frekvenční posuv nule. Tento problém je v praxi možné například řešit tím, že jeden z dopadajících svazků je proti druhému frekvenčně posunut. Pro frekvenční posun referenčního svazku lze použít akustickooptický (tzv. Braggova cela) nebo elektrooptický (tzv. Pockelsova cela) frekvenční modulátor, které využívají akustickooptický, resp. elektrooptický jev pro posuv frekvence procházejícího záření [9]. U Braggovy cely pro frekvenční modulaci svazků je možný minimální frekvenční posuv v řádu desítek megahertzů, což je ještě dosti vysoká frekvence pro demodulaci detekovaného signálu, a proto pro detekci malých rychlostí se často používá frekvenční modulace v referenčním i objektovém svazku s frekvenčním rozdílem $\Delta\Omega$ přibližně 1 MHz. Výhodou uspořádání s frekvenčním modulátorem je tedy možnost měření změny směru rychlosti a měření velmi malých rychlostí. Jestliže budeme uvažovat, že předmětový svazek dopadá na měřenou oblast objektu a odražené vlnové pole je detekováno ve stejném směru, tj. $\theta = 0$ (obr. 1), potom podle (2) platí pro dopplerovský posuv frekvence v časovém okamžiku t

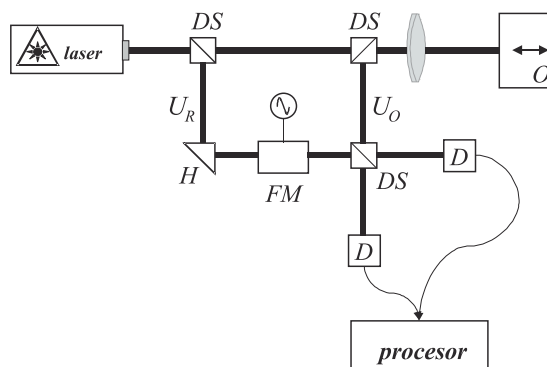
$$\Delta f_D(t) = \Delta\Omega + f_R - f_O(t) = \Delta\Omega + \frac{2v(t)}{c} f_R, \quad (8)$$

přičemž

$$v(t) > 0 \Rightarrow f_R - f_O(t) > 0 \dots \text{vzdalující se objekt,}$$

$$v(t) < 0 \Rightarrow f_O - f_R(t) < 0 \dots \text{přibližující se objekt.}$$

Je vidět, že nyní již můžeme vyhodnocovat jak velikost, tak směr rychlosti vibrujícího objektu pomocí měření signálu (6), do něhož dosadíme vztah (8).



Obr. 2. Schéma laserového vibrometru

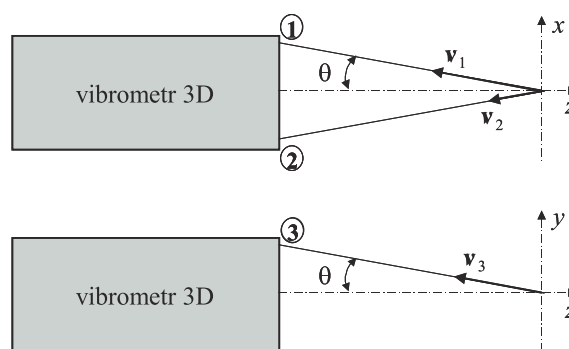
Uspořádání měřicího zařízení

Na obrázku 2 je znázorněno schéma uspořádání prvků laserového vibrometru. Optický svazek vycházející z laseru je pomocí děliče svazku (DS) rozdělen na dva svazky. První, tzv. předmětový svazek, dopadá na vibrující měřenou oblast (O) a od ní se odráží zpět, kde je jeho chod usměrňován pomocí děličů svazku (DS) a dopadá na detektor (D). Druhý, tzv. referenční svazek, je přes odrazný hranol zaveden do frekvenčního modulátoru (FM), ze kterého poté vychází frekvenčně posunutý svazek. Tento svazek, s posunutou frekvencí podle (9), potom dopadá na detektor optického záření (D), kde interferuje s předmětovým svazkem. Frekvenčně modulovaný analogový interferenční signál z detektoru je poté zpracován pomocí digitálního signálového procesoru. Laserovými vibrometry lze měřit nejen jednu složku vektoru rychlosti, např. ve směru, kde předpokládáme maximální amplitudu vibrací, ale všechny tři složky vektoru rychlosti. Na obrázku 3 je naznačeno principiální schéma pro takovéto měření. Vibrometr používá tři nezávislé předmětové svazky (označené 1–3), které svírají s osou z úhel θ . Je měřena velikost rychlosti vibrací v_1 , v_2 a v_3 ve zvolených směrech a pomocí jednoduchých geometrických vztahů mohou být vypočteny složky vektoru rychlosti ve zvoleném kartézském systému (x , y , z). Platí

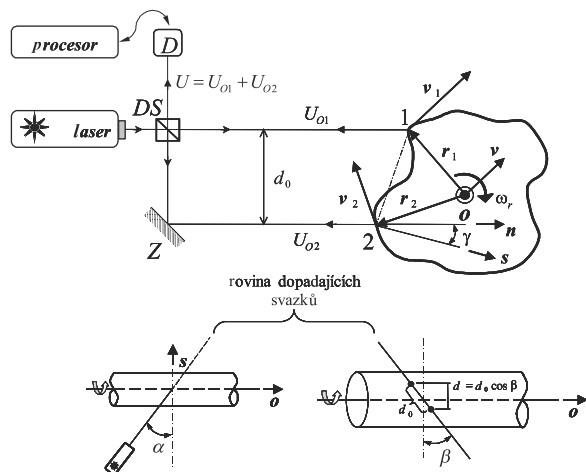
$$v_x = (v_2 - v_1) / 2 \sin \theta, \quad (9a)$$

$$v_y = (v_3 - v_2 \cos \theta) / \sin \theta, \quad (9b)$$

$$v_z = (v_2 + v_1) / 2 \cos \theta. \quad (9c)$$



Obr. 3. Schéma trojrozměrného měření vibrací



Obr. 4. Měření vibrací na rotujících objektech

Použitím dopplerovské interferometrie lze zjišťovat nejen podélné či příčné vibrace povrchu, ale též úhlové vibrace na rotujících objektech, tj. lze měřit časové změny frekvence otáčení. Pro měření tohoto typu vibrací se používají dva předmětové svazky. Na obrázku 4 je schematicky znázorněn princip měřicího zařízení, kde je naznačen příčný řez rotující tyčí libovolného tvaru s osou otáčení o , která se otáčí v daném okamžiku úhlovou rychlostí ω_r , a zároveň může vibrovat jako tuhé těleso rychlostí v . Svazek vycházející z laseru je rozdělen pomocí děliče svazku DS a zrcadla Z na dva rovnoběžné svazky stejné intenzity s roztečí d_0 . Tyto svazky dopadají na rotující tyč v bodech 1 a 2 ve směru definovaném jednotkovým směrovým vektorem n , přičemž obvodové rychlosti v těchto místech jsou v_1 , resp. v_2 .

Oba svazky po odrazech na zrcadle a děliči svazků interferují a výsledné interferenční pole je zaznamenáváno na detektoru optického záření D . Pro dopplerovskou frekvenci detekovaného interferenčního signálu lze odvodit

$$\Delta f_D = \frac{4\pi}{\lambda} f_r \mathbf{n} [\mathbf{o} \times (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)] = \frac{4\pi}{\lambda} f_r |\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2| \cos \alpha \cos \gamma, \quad (10)$$

kde f_r je frekvence otáčení rotující tyče, α je úhel mezi vektorem osy otáčení o a vektorem vzdálenosti mezi body dopadu svazků $(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)$ a γ je úhel mezi jednotkovým vektorem s kolmým k vektorům o a $(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)$, a směrovým vektorem n dopadajících svazků. Vyhodnocením frekvence Δf_D tedy získáme časovou závislost frekvence otáčení f_r , tj. jak konstantní složky rotace, tak proměnlivou složku, která popisuje rotační vibrace. Jak lze vypožorovat z předcházejících vztahů, není měření výsledné frekvence citlivé na radiální nebo axiální pohyby rotující tyče, ale pouze na frekvenci otáčení a na geometrickém uspořádání měřicího zařízení. Vhodným uspořádáním lze detekovat rychlost otáčení až do 15 000 ot/min. Rotační vibrometry tedy slouží především ke kontrole stability rychlosti otáčení rotujících součástí.

Jak již bylo poznamenáno, zpracování detekovaného signálu (7) probíhá v elektronickém signálovém procesoru. Mixováním koherentního objektového svazku s frekvenčně modulovaným referenčním svazkem lze demodulovat fázové změny interferenčního signálu způsobené vibrací povrchu měřeného objektu. Podle vztahů (8) a (10) je možné poté již jednoduše určit časový průběh měřených vibrací (rychlostí). Demodulace Dopplerovského signálu při měření vibrací se dá provést pomocí oscilátoru PLL, ve kterém napětím řízený oscilátor se zpětnou vazbou sleduje frek-

venci vstupního signálu na základě detekce fázového rozdílu mezi fází vstupního signálu a signálu referenčního oscilátoru. Měření vibračních posunů je možné provádět časovou integrací signálu rychlosti podle

$$d(t) = \int_{t_0}^t v(t) dt \quad (11)$$

nebo pomocí heterodynního čítače interferenčních proužků, který detekováním počtu pohybujících se intenzitních maxim interferenčního obrazce určuje počet vlnových délek, o které se měřený povrch objektu posunul.

Použití měřicí metody v technické praxi

V praxi se tato metoda používá v mnoha oblastech průmyslu pro nedestruktivní ověřování částí konstrukcí namáhaných mechanickými vibracemi. Existuje několik vhodných konstrukčních modifikací popsaného způsobu měření vibrací. Jako velmi výhodné se jeví použití optických vláken s optickou hlavicí pro přenos svazku koherentního záření. Toto schéma má zejména tu výhodu, že je redukována hmotnost a rozměr optické hlavičky, která může být pružně umístěna v těsné blízkosti měřeného předmětu a na obtížně přístupných místech. Pomocí vibrometru vhodné konstrukce lze též měřit vzájemný relativní pohyb (vibrace) na dvou různých místech povrchu objektu.

Jednou z hlavních nevýhod laserových vibrometrů je to, že neumožňují získat komplexní přehled o vibrujícím předmětu v daném okamžiku, jelikož měří vibrace povrchu tělesa pouze v jednom malém místě. Často je ovšem žádoucí získat informace o dynamickém chování celého sledovaného objektu. To alespoň částečně mohou zajistit skenovací laserové vibrometry, které umožňují měřit, mapovat, vizualizovat a následně analyzovat vibrace určené oblasti měřeného objektu. Takovýto měřicí přístroj používá počítačově řízené směřování svazku pomocí vhodných optoelektronických prvků [9], např. rozmítacích zrcátek, která zaměřují předmětový svazek do předem určené sítě měřicích míst na povrchu objektu. Následně je možné využitím vhodných interpolačních technik automaticky analyzovat data o vibraci povrchu měřeného objektu. Na základě získaných dat lze vytvořit grafický model zkoumaného vibrujícího povrchu a provádět jeho analýzu, což se uplatňuje zejména při navrhování výrobků. Je tak možné v reálném čase provádět komplexní analýzu směřující k optimalizaci konstrukce. Příkladem skenovacího laserového vibrometru může být komplexní systém PSV-300 pro měření vibrací a jejich následnou analýzu od firmy Polytec PI (obr. 5).

V současné době je možné měřit rychlost pohybu od 0,5 mm/s do 20 m/s při frekvencích vibrací od 0,1 Hz do 1,5 MHz a velmi přesně měřit absolutní pohyb měřeného objektu s rozlišením více než $\lambda/80 \approx 0,01 \mu\text{m}$ [11], kde λ je vlnová délka použitého záření. U helium-neonových laserů, které se pro měření běžně používají, je $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Vyrábějí se též velmi malé vibrometry, kterými lze měřit vibrace pouhým zacílením na objekt, čehož se využívá při průmyslové kontrole.

Laserové vibrometry mají široké uplatnění v technické a vědecké praxi, a to jak při navrhování nových výrobků, tak při kontrole činnosti a funkčnosti výrobků. Díky svým výhodám proti standardním kontaktním senzorům vibrací se nejčastěji se používají:

- v automobilovém průmyslu (snižování hluku motorů, brzdě a výfukové systémy),
- v leteckém průmyslu (nedestruktivní zkoušení materiálů),

- ve stavebnictví (měření vibrací stavebních konstrukcí),
- v elektronickém průmyslu (vývoj pevných disků),
- v audioprůmyslu (analýza a vývoj reproduktorových soustav a hudebních nástrojů),
- lékařství (zkoumání kmitajících membrán ve sluchovém ústrojí).

Popsaná bezkontaktní metoda pro měření vibrací měřených povrchů objektů má řadu zřejmých výhod, zejména:

- je bezdotyková a nemůže poškodit měřený objekt;
- měření neovlivňuje průběh pohybu (probíhá mimo měřenou oblast);
- široký kmitočtový rozsah měřených vibrací (do 1,5 MHz);
- možnost diferenciálního měření;
- vysokou linearitu a přesnost měření;
- možnost měření vibrací velmi malých struktur;
- možnost zkoumat vibrace na nepřístupných místech, např. vysoce teplotně nebo korozivně namáhaném povrchu konstrukce;
- možnost měření vibrací rotačních pohybů, vysokofrekvenčních vibrací.

Je tedy zřejmé, že ji lze použít zejména tam, kde standardní kontaktní metody měření vibrací jsou obtížně použitelné vzhledem k charakteru měřeného objektu.



Obr. 5. Skanovací laserový vibrometr fy Polytec PI

Závěr

V práci byl popsán fyzikální princip měření vibrací průmyslových objektů a konstrukcí pomocí optické metody, která umožňuje bezkontaktní diskrétní bodová měření mechanických vibrací ve zvolených místech objektu. Je založena na vyhodnocování změny frekvence optického vlnového pole po jeho odrazu od povrchu vibrujícího objektu pomocí techniky koherentní detekce. Na základě teorie Dopplerova jevu byl vysvětlen princip a možnosti jejího použití byly demonstrovány schémata měřicího zařízení. Dále byly nastíněny výhody a nevýhody laserových vibrometrů v různých odvětvích vědy a techniky. Je zřejmé, že jde o velmi elegantní a přesný nástroj pro určování vibrací objektů, který lze využít v průmyslové praxi.

Článek byl vypracován v rámci grantu č. 103/02/0357 GA ČR.

Literatura

- [1] Michalko, O. – Mikš, A. – Semerák, P. – Klečka, T.: Fyzikální a mechanické zkoušení stavebních materiálů. Praha, Vydavatelství ČVUT 1998.
- [2] Ďaďo, S. – Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha, Vydavatelství ČVUT 1996.
- [3] Cloud, G.: Optical Methods of Engineering Analysis. Cambridge, Cambridge Univ. Press 1998.
- [4] Rastogi, P. K.: Handbook of Optical Metrology. Boston, Artech House Publishing 1997.
- [5] Kreis, T.: Holographic Interferometry: Principles and Methods. Berlin, Akademie Verlag 1996.
- [6] Mikš, A. – Novák, J.: Application of Multi-Step Algorithms for Deformation Measurement. SPIE Proceedings, Vol. 4398, Washington 2001, pp. 280–288.
- [7] Novák, J.: Error Analysis of Three-Frame Algorithms for Evaluation of Deformations. Interferometry of Speckle Light: Theory and Applications. Berlin, Springer Verlag 2000. pp. 439–444.
- [8] Votruba, V.: Základy speciální teorie relativity. Praha, Academia 1977.
- [9] Saleh, B. E. A. – Teich, C. M.: Základy fotoniky. Praha, Matfyzpress 1996.
- [10] Malacara, D. (ed.): Handbook of Optical Engineering, New York, Marcel Dekker 2001.
- [11] Polytec PI Product Catalogue 2002.

Novák, J.: Modern Optical Methods for Measuring of Vibrations in Industry – Point Techniques

This article describes a physical principle of optical methods for non-contact vibration measurement of structures in industrial practice. The paper is focused on the point methods, which enable very accurate measurements of dynamic changes of the shape of the tested object, i.e. vibrations, in several points on the object surface. Further, the paper describes some practical schemes for measuring vibrations together with advantages of these methods in comparison with contact methods. It also deals with possible applications of these non-contact methods in practice.

Novák, J.: Moderne optische Verfahren zur Vibrationsmessung in der Industrie

Der Artikel beschreibt das physikalische Prinzip der kontaktlosen Messung der Oberflächen von Konstruktionen und Konstruktionsteilen in der Industriepraxis. Er ist auf die Punkttechniken ausgerichtet, die es ermöglichen, dynamische Veränderungen der Gestalt des Messobjektes, d.h. Vibrationen, in diskreten Punkten an dessen Oberfläche sehr genau zu messen. Es werden Applikationen von Messvorrichtungen aus der Praxis einschließlich der offensichtlichen Vorteile gegenüber den klassischen Kontaktverfahren zur Vibrationsmessung angeführt.

Glaserův kondenzační model

doc. RNDr. Tomáš FICKER, DrSc.
VUT – Fakulta stavební
Brno

Článek přináší několik metodologických poznámek ke kondenzačnímu modelu prof. H. Glasera, které se týkají grafické konstrukce výsledného tlakového profilu.

Úvod

Koncem padesátých let minulého století navrhl prof. H. Glaser z Göttingenu graficko-početní metodu [1] k ověření kondenzace vodních par uvnitř stavebních konstrukcí, které jsou vystaveny difúznímu toku vodních par za přítomnosti teplotního spádu. Jde zejména o obvodové pláště budov včetně střech. Pomocí Glaserova kondenzačního modelu lze přibližně určit nejen rozsah kondenzační oblasti a množství vzniklého kondenzátu, ale i parametry parozábrany k vyloučení kondenzace. Model je ovšem v mnoha směrech silným zjednodušením skutečnosti, takže lze jen stěží porovnávat jeho výsledky s experimentálními daty. Glaserův model se však stále používá a je mezinárodně uznávaným standardem [2], [3] k ověřování kondenzačních problémů v konstrukcích.

Téměř všechny učební texty stavební tepelné techniky v naší republice Glaserův model do svého obsahu zahrnuly, avšak téměř nikde nelze nalézt zdůvodnění některých jeho grafických prvků. V této metodě se např. používají tečny vedené ke křivce nasycených par k vymezení kondenzační oblasti, avšak nikde nenalezneme důvody, proč jsou to právě tečny, které by měly takovou obast vymežit. Vysvětlení je až v původní Glaserově práci [1]. Zdůvodnění je založeno na poměrně jednoduché úvaze z oblasti matematické analýzy. Cílem článku je přiblížit čtenářům důvody, jež vedly prof. Glasera k zavedení „tečnového“ kondenzačního modelu, který i navzdory současným pokročilým počítačovým modelům (numerické řešení transportních rovnic) stále úspěšně odolává toku času.

Glaserův model

Podstata Glaserovy graficko-početní metody spočívá v sestavení dvou parciálních tlakových profilů – nasycených a aktuálních vodních par – uvnitř konstrukce, a to v souřadném systému (x – difúzní odpor R ; y – parciální tlak p).

Křivka parciálního tlaku nasycených par se určí ze známého lineárního teplotního profilu konstrukce, avšak křivku aktuálního parciálního tlaku vodních par nelze určit jednoduchým způsobem. Komplikujícím faktorem je kondenzace.

Oblast bez kondenzace

V oblastech konstrukce, kde nenastává kondenzace, je křivka aktuálního parciálního tlaku par určena druhou Fickovou rovnicí, která nabývá ve stacionárním jednorozměrném případě podoby jednorozměrné Laplaceovy rovnice

$$\frac{d^2 p(x)}{dx^2} = 0 \quad (1)$$

s okrajovými podmínkami

$$p(0) = p_i, \quad p(d) = p_e, \quad (2)$$

kde p_i je parciální tlak na vnitřním povrchu konstrukce ($x=0$) a p_e je parciální tlak na vnějším povrchu ($x=d$). Řešením je lineární tlakový profil

$$p(R_x) = p_i - \frac{p_i - p_e}{d} x = p_i - \frac{p_i - p_e}{R_d} R_x, \quad (3)$$

$$R_d = \frac{d}{\delta}, \quad R_x = \frac{x}{\delta},$$

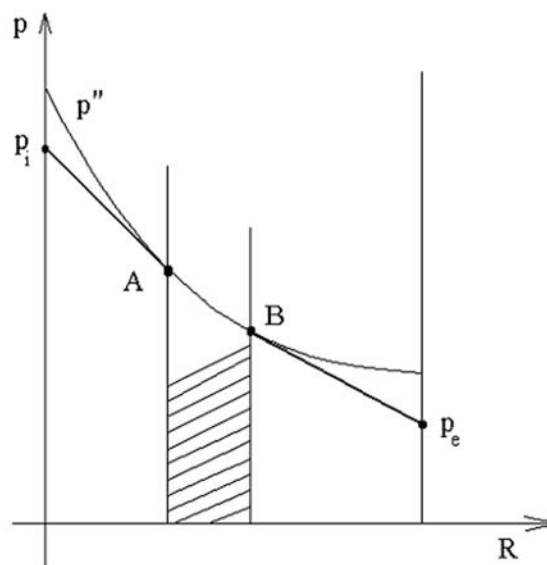
kde δ je difúzní součinitel vodivosti.

Hustota difúzního toku g je v oblasti mimo kondenzaci dána první Fickovou rovnicí

$$g = -\frac{d}{dx} \delta p(x) = -\frac{dp(R_x)}{dR_x} = \text{konstanta}. \quad (4)$$

Oblast kondenzace

V oblasti kondenzace by však druhá Fickova rovnice musela být doplněna o zdrojovou, resp. anihilační funkci $f(x)$, která by vyjadřovala, jaká hmotnost vodní páry zkondukuje v daném místě x v jednotce objemu za jednotku času. Nalézt funkci $f(x)$ však není triviální záležitostí a Glaser tento problém vyřešil velmi vtipně. Nehledal funkci $f(x)$, ale snažil se odhadnout přímo tvar výsledného tlakového profilu.



Obr. 1. Glaserovo kondenzační schéma
A, B – oblast kondenzace

Návaznost obou oblastí

Shrneme-li získané poznatky, můžeme konstatovat následující:

- v oblasti **mimo kondenzaci** je difúzní tok g konstantní (4) a tlakový profil **lineární** (3);
- v oblasti **kondenzace** se difúzní tok zmenšuje (ubývá plyných molekul, které přecházejí v kapalný kondenzát), takže funkce $g(R_x)$ musí být **klesající**, tzn.

$$\frac{dg}{dR_x} < 0. \quad (5)$$

Z rovnic (4) a (5) vyplývá

$$\frac{d^2 p}{dR_x^2} > 0, \quad (6)$$

což je podmínka **ryzí konvexnosti** (graf ryze konvexní funkce leží ve všech bodech nad tečnou);

c) v oblasti kondenzace musí být navíc aktuální parciální tlak vodních par nanejvýš roven tlaku nasycených vodních par p'' , tj.

$$p(R_x) \approx p''(R_x). \quad (7)$$

Lineární úseky $p(R_x)$ v oblastech bez kondenzace musí navazovat na křivku nasycených par $p''(R_x)$ v oblasti kondenzace takovým způsobem, aby byla ve **společném bodě dotyku zachována konvexnost výsledné křivky**. To není možné uskutečnit jinak, než že se lineární úseky stanou ve společných hraničních bodech tečnami ke křivce $p''(R_x)$. Na *obrázku 1* je kondenzační oblast vymezena body *A*, *B*,

v nichž se tečny dotýkají křivky nasycených par p'' . Tečny jsou vedeny z bodů krajních parciálních tlaků p_i a p_e .

Závěr

Z předešlého je zřejmé, že důvody, které vedly prof. H. Gläsera k zavedení „tečnového“ modelu kondenzace, byly skutečně založeny na úvahách z matematické analýzy, přesněji řečeno na analytickém průběhu výsledné konvexní funkce tlaku v kondenzační oblasti. Požadavek konvexnosti však vyplynul z fyzikálních vlastností kondenzujícího systému.

Literatura

- [1] Gläser, H.: Graphisches Verfahren zur Unter-Suchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik, 11, 1959, pp. 345–349.
- [2] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 1994.
- [3] DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Deutsches Institut für Normung, Berlin, 1999.

Ficker, T.: Glaser's Condensation Model

This paper presents methodological comments on the condensation model designed by Prof. H. Glaser. The comments deal with the graphical structure of the resulting pressure profile.

Ficker, T.: Das Glasersche Kondensationsmodell

Der Artikel bringt einige methodische Bemerkungen zum Kondensationsmodell nach Professor H. Glaser, die die grafische Konstruktion des resultierenden Druckprofils betreffen.

● recenze

Rastogi, P. K. (ed.)

Digital Speckle Pattern Interferometry and Related Techniques (Digitální speklinterferometrie a příbuzné techniky)

John Wiley & Sons, New York 2001, 368 s., ISBN 0-471-49052-0, cena 155 USD

Bezkontaktní optické metody pro nedestruktivní zkoušky se v současné době používají v mnoha oblastech vědy a průmyslu, např. v oblasti experimentální mechaniky, materiálového inženýrství, strojírenství i ve stavebnictví. Recenzovaná kniha pojednává o některých digitálních bezkontaktních měřicích metodách založených na interferenci vlnových polí. Zaměřuje se zejména na speklinterferometrii a příbuzné metody, jež lze použít k velmi přesnému měření statických i dynamických změn tvaru testovaných objektů s opticky drsným povrchem.

Kniha je tematicky rozdělena do šesti kapitol se 172 obrázky a věcným rejstříkem. Každá kapitola je doplněna přehledem odborné literatury vhodným k prohloubení objasňované problematiky. V první kapitole je podrobně vysvětlen pojem interferenční zrnitosti (speklu), jež vzniká záznamem koherentního vlnového pole po odrazu na opticky drsném povrchu. Dále je zde podrobně objasněn princip speklinterferometrie a statistické vlastnosti takovýchto vlnových polí. Druhá kapitola se zaměřuje na metody automatické analýzy interferogramů ve speklinterferometrii. Jde především o popis a analýzu nejpoužívanějších vyhodnocovacích metod, např. fázového posuvu nebo Fourierovy transformace. Třetí kapitola stručně popisuje základní princip digitální speklinterferometrie a vhodné uspořádání zařízení k měření statických deformací a

tvarů zkoumaných povrchů. Ve čtvrté kapitole je podrobně pojednáno o měření vibrací metodami digitální speklinterferometrie. Je diskutována jak teorie a odlišnost od statických měření, tak vhodnost jednotlivých prvků měřicí aparatury pro dynamická měření. V páté kapitole je popsána metoda digitální speklfotografie, která je založena na principu vyhodnocování změny zaznamenané speklstruktury v důsledku deformace měřeného objektu. Je též popsán postup digitální detekce pohybu speklstruktury, který úzce souvisí s měřenou deformací. Poslední kapitola se zabývá další digitální bezkontaktní metodou, a to digitální holografickou interferometrií. Je popsán princip této moderní metody pro měření deformací a tvaru povrchů.

Kniha poskytuje kvalifikovaný pohled na problematiku bezkontaktních měření deformací a tvarů opticky drsných povrchů. Je jí možné hodnotit jako velmi dobrý přehled současných měřicích metod. Jednotlivé kapitoly jsou vhodně doplněny příklady aplikací metod v praxi. Vzhledem k současnému vývoji zmíněných digitálních bezkontaktních měřicích metod a jejich možným aplikacím v mnoha oblastech vědy a průmyslu lze publikaci doporučit všem vědeckým pracovníkům a inženýrům, kteří se zabývají bezkontaktním měřením tvarů a deformací.

J. Novák

Návrh a kalibrace měřicího systému tvořeného teodolitem a digitální kamerou

Ing. Martin ŠTRONER
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

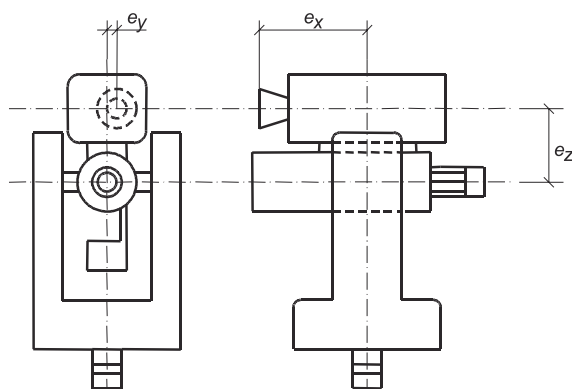
V článku je prezentován návrh a kalibrace přístroje tvořeného digitální kamerou a teodolitem, který má sloužit k měření vodorovných a svislých úhlů na krátké vzdálenosti prostřednictvím kombinace měření teodolitem a snímání obrazových dat digitální kamerou.

Úvod

Mezi moderní způsoby určování ploch a povrchů objektů patří laserové skenování, které může být založeno na různých principech. V práci je ukázán návrh a kalibrace systému schopného na základě registrace obrazových dat digitální kamerou měřit vodorovné a svislé směry rychlostí závislou pouze na rychlosti kamery, který byl navržen jako součást jednoduchého skeneru rotujících předmětů malého rozměru.

Princip a použití přístroje

Zařízení je navrženo jako jednoduché spojení digitální kamery a teodolitu. Kamera je upevněna na dalekohledu teodolitu tak, že osa záběru je přibližně rovnoběžná se záměrnou přímkou teodolitu (obr. 1). Po kalibraci (zjištění prvků vnitřní orientace a konstant, které umožní určit prvky vnější orientace), bude možné ze známých souřadnic (stanoviska, orientačního bodu), z hodnot měřených teodolitem (vodorovný úhel, zenitový úhel) a ze snímkových souřadnic měřených bodů určit souřadnice vstupní pupily a vodorovný a zenitový úhel na určovaném/měřeném bod.



Obr. 1. Schéma návrhu konstrukce přístroje

Přístroj spojuje možnosti měření teodolitem, tj. centraci nad známým stanoviskem, měření vodorovných a zenitových úhlů a měření fotogrammetrické, tj. velkého množství bodů snímáním obrazu, a navíc jako digitální zařízení dovoluje velmi rychlá opakovaná měření ve stejném směru. Kamera má přímé propojení s počítačem prostřednictvím zachytávací karty (angl. framegrabber), což umožňuje snímání jak jednotlivých obrázků, tak videa.

Princip přístroje (nehlédě na technické možnosti) umožňuje jednoduché zaměření vodorovného a zenitového úhlu na bod pouze odečtením snímkových souřadnic. Ty lze měřit jak v reálném čase na přenášeném obrazu (není třeba přesné cílení), tak po měření na uložených snímcích.

Přístroj byl navržen pro ověření možnosti kalibrace. Technické vybavení však dovoluje použití přístroje pro měření na vzdálenost do 3 m. Využití přístroje se předpokládá u skeneru rotujících předmětů složeného z uvedeného přístroje, laseru a optického prvku vytvářejícího svislou světelnou rovinu a točny, která zajistí otáčení skenovaného předmětu.

Přístrojové a programové vybavení

Pro zkoušky a kalibraci je k dispozici teodolit Zeiss Theo 010 A, digitální videokamera JVC TK-C1380E (založená na snímači CCD – Charged Couple Device) s objektivem Cosmicar 25 mm a zachytávací karta X-Press Plus fy Integral Technologies (USA). Kamera s rozlišením 752×548 pixelů umožňuje snímání videa rychlostí až 25 snímků za sekundu.

K dispozici je profesionální systém pro snímání obrazu Lucia 4.0. Pro odečítání snímkových souřadnic byl vytvořen program Odecitac, který umožňuje měření s rozlišením 0,25 pixelu pomocí funkce lupa, u celistvých pravidelných cílů funkce automatického označování středů objektů (AOSO). Pro výpočet koeficientů direktní lineární transformace (DLT) pak program Dlt3k; vše pro operační systém Microsoft Windows NT 4.0 a vyšší.

Postup výpočtu měřených úhlů

Pro výpočet je nutné znát konstanty, které jsou získány pomocí kalibrace, dále souřadnice a úhly měřené teodolitem. Přestože výpočet může následovat až po kalibraci, je nutné znát, které hodnoty jsou ve výpočtu potřeba, a tedy je nutné dříve uvést postup výpočtu. Pro výpočet je třeba znát tyto hodnoty:

- souřadnice stanoviska a orientačních bodů stanoviska, výšku přístroje, aby bylo možné vypočítat souřadnice vztahného bodu teodolitu (X_S, Y_S, Z_S);
- měřené hodnoty x', y', φ, z (snímkové souřadnice, vodorovný směr, zenitový úhel);
- konstanty z kalibrace $f, x'_0, y'_0, e_x, e_y, e_z$ (konstanta komory, souřadnice hlavního snímkového bodu, složky excentricity vstupní pupily ve směru jednotlivých os ve vodorovné poloze dalekohledu – obr. 1).

Výpočet polohy vstupní pupily kamery

Na obrázku 1 je načrt upevnění digitální kamery na teodolit. Je zřejmé, že poloha vstupní pupily proti souřadnicím stanoviska (průsečík svislé a vodorovné točné osy teodolitu) závisí na směrníku záměrné přímky a na zenitovém úhlu. Při vodorovné poloze dalekohledu jsou zde zakresleny složky excentricity vstupní pupily proti stanovisku ve směru jednotlivých souřadnicových os e_x, e_y, e_z .

Při znalosti těchto hodnot, směrníku záměrné přímky teodolitu a zenitového úhlu lze pomocí prostorové transformace získat okamžitý posun ve všech souřadnicových osách, a tedy souřadnice vstupní pupily (X_0, Y_0, Z_0) podle vzorců (1) až (7), kde o je orientační posun.

$$\sigma = \varphi + o, \quad (1)$$

$$v = z - 100^{\text{gon}}, \quad (2)$$

$$\mathbf{R}(\alpha, \beta, \gamma) = \mathbf{R}_z(\gamma) \cdot \mathbf{R}_y(\beta) \cdot \mathbf{R}_x(\alpha), \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{R}_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & -\sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\mathbf{R}_z(\gamma) = \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & \sin(\gamma) & 0 \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} = \mathbf{R}(0, v, \sigma) \cdot \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Výpočet vodorovného a zenitového úhlu

Nejprve je třeba provést redukci snímkových souřadnic na počátek, tj. hlavní snímkový bod a otočení souřadnic do správné polohy o náklon kamery α .

$$x'_R = x' - x'_0, y'_R = y' - y'_0, \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} x'_R \\ y'_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(-\alpha) & -\sin(-\alpha) \\ \sin(-\alpha) & \cos(-\alpha) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x'_R \\ y'_R \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Dále je třeba vypočítat úhly od osy záběru pomocí f a snímkových souřadnic. Výsledný směrník/zenitový úhel vznikne součtem úhlu ze snímkových souřadnic, měřeného/vypočteného zenitového úhlu/směrníku, korekce dV/dH (opravuje rozdílný směr záměrné přímky teodolitu a kamery) a dále hodnot odV/odH , což jsou korekční členy postihující vady zobrazení (distorze objektivu, vliv nekolmosti senzoru na záměrnou přímku apod.). Korekce odV a odH lze určit jako $odV = odV(x'_T, y'_T)$ a $odH = odH(x'_T, y'_T)$, jejich konkrétní tvar bude určen na základě výsledků kalibrace

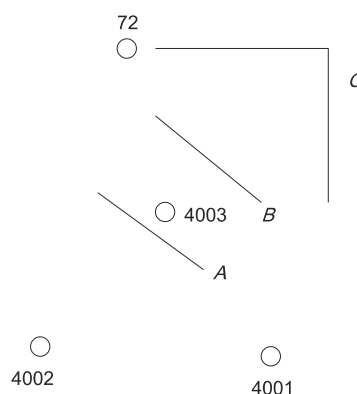
$$Hz = \varphi + o + \arctan\left(\frac{x'_T}{f}\right) + dH + odH, \\ Z = z + \arctan\left(\frac{y'_T}{\sqrt{f^2 + x'^2_T}}\right) + dV + odV. \quad (10)$$

Kalibrace měřicího systému

Kalibrace měřicího systému proběhla kombinovaným způsobem. První část byla provedena direktní lineární transformací (DLT, konstanta komory, poloha vstupní pupily), druhá část potom doplňujícími pokusy tam, kde výsledky z DLT nejsou spolehlivé. V obou případech bylo k měření využito dočasně stabilizované kalibrační pole. Vzhledem k tomu, že objektiv kamery má zorný úhel ve vodorovné rovině pouze 15 gon, bylo nutné pro zajištění stability výpočtu navrhnout a vytvořit vzhledem k ose záběru toto pole značně hloubkově členité.

Kalibrační pole

Vzhledem k nedostatku jiných prostor bylo kalibrační pole postaveno provizorně v kanceláři. Úzký zorný úhel kamery, a tedy úzký svazek paprsků směřujících na body, si vynutil po několika úvodních experimentech vytvoření pole bodů, na které se zdá být přiléhavější pojmenování kalibrační tunel, protože mělo výraznou hloubkovou členitost. Uspořádání bodů bylo navrženo ve třech hloubkových rovinách, pro stabilizaci bodů byly využity stěny kanceláře a přenosné dřevěné rámy. Pole obsahuje celkem 34 bodů pro kalibraci, jeden bod určující výšku a tři stanoviště. Souřadnice byly určeny protínáním vpřed z úhlů totální stanicí Leica TC 1800 ze stanovišek 4001 a 4002 měřením ve skupině (obr. 2). Body 4002, 4001 a 4003 jsou stanoviště, bod 72 má danou výšku, od níž je odvozena výška ostatních bodů; A, B, C jsou prostory (roviny), v nichž jdou umístěny body pole.



Obr. 2. Půdorysné schéma kalibračního pole

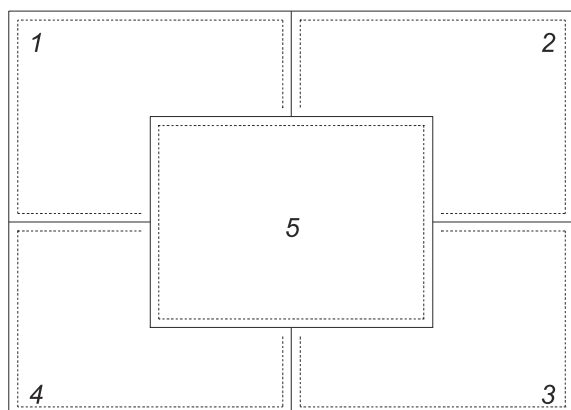
Direktní lineární transformace

Direktní lineární transformaci (DLT), její matematickou podstatu, způsob výpočtu z nadbytečného počtu měření metodou nejmenších čtverců lze nalézt v [1]. Zprostředkovává matematické zobrazení prostorových souřadnic X, Y, Z do snímkových souřadnic x', y' . V zobrazení je celkem 11 koeficientů, z nichž lze vypočítat prvky vnitřní i vnější orientace. Limitovaná numerická stabilita výpočtu koeficientů však přináší velké nejistoty do výpočtu některých prvků orientace a právě z těchto důvodů byly pomocí DLT vypočteny pouze konstanta komory f a složky excentricity vstupní pupily e_x, e_y, e_z . Pro určení konstanty komory bylo použito 28 snímků, ze kterých byly vypočteny koeficienty DLT. Konstanta kamery f (ohnisková vzdálenost) byla určena $f = 3\,026,5$ pixelu se směrodatnou odchylkou $s_f = 2,8$ pixelu. Pro určení složek excentricity vstupní pupily kamery proti vztažnému bodu teodolitu e_x, e_y, e_z bylo použito celkem 15 snímků. Z koeficientů DLT byla vypočtena poloha X_0, Y_0, Z_0 vstupní pupily v souřadné soustavě kalibračního pole, vypočteny souřadnicové rozdíly od vztažného bodu teodolitu a pootočený tak, aby směrník teodolitu byl roven 0 gon a zenitový úhel byl roven 100 gon. Výsledkem výpočtu byly hodnoty $e_x = 0,0841$ m, $e_y = -0,0006$ m, $e_z = 0,0863$ m se směrodatnými odchylkami $s_{e_x} = 0,0007$ m, $s_{e_y} = 0,0001$ m, $s_{e_z} = 0,0001$ m. Další hodnoty nebylo možné z koeficientů DLT uspokojivě vypočítat.

Doplňující pokusy

Z koeficientů DLT nebylo možné s dostatečnou přesností určit pootočení obrazu proti vodorovné rovině α , souřadnice hlavního snímkového bodu x'_0, y'_0 , opravy vodorovného a svislého úhlu dHz, dV . Tyto hodnoty bylo třeba zjistit dalšími pokusy.

Princip pokusu pro určení stočení snímače CCD α (v případě, kdy je teodolit horizontován), je jednoduchý. Pokud je teodolit centrován, zacílí se tak, aby bod použitý pro měření byl na levém okraji obrazu. Poté se bez povolení svislých ustanovek přecílí tak, aby se bod posunul na okraj pravý. Změna souřadnice x' reprezentuje velikost pootočení, změna souřadnice y' existenci stočení, dvojice souřadnicových rozdílů $\Delta x'$, $\Delta y'$ pak jeho velikost. Bylo použito celkem devět bodů, výsledkem je hodnota pootočení $\alpha = 0,985$ gon se směrodatnou odchylkou $s_\alpha = 0,031$ gon.



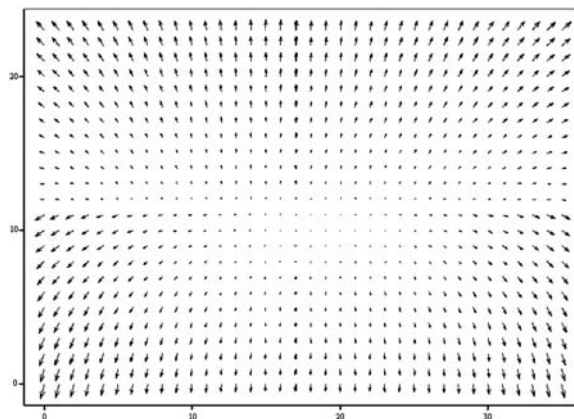
Obr. 3. Rozmístění snímků v zorném poli kamery

Určení souřadnic hlavního snímkového bodu bylo dalším krokem v kalibraci systému. Jednoduchým rozbořem přesnosti lze dokázat, že pokud u kamery s tak úzkým zorným polem skutečná chyba v určení hodnoty x'_0 dosáhne 78 pixelů, chyba měření úhlu rovného úhlu zornému bude mít hodnotu menší nebo rovnou 0,01 gon (což je chyba odpovídající hodnotě 0,5 mm na vzdálenost 3 m). Snímkové souřadnice hlavního snímkového bodu se určovaly vzhledem k této skutečnosti. Jednoduchý pokus vychází z úvahy, že pokud je proti kameře postaveno rovinné zrcadlo tak, aby bylo kolmé na osu záběru, lze za přibližné umístění vstupní pupily pokládat střed objektivu v zrcadlovém obraze, kde kamera snímá sama sebe. V popsané situaci tedy stačí nastavit zrcadlo kolmo k ose záběru a určit souřadnice obrazu středu objektivu. Přibližné kolmosti lze dosáhnout pohledem na objektiv, který má na točítku ostření vroubkování, a právě porovnání velikosti vroubků na protilehlých stranách lze s výhodou využít. Střed objektivu bylo možné určit pomocí clonky, která při uzavírání vytváří charakteristický osmihran a z jeho protilehlých vrcholů lze snadno pomocí průměru vypočítat střed. S výhodou byl při měření využit osvit clony elektrickou svítilnou, což dovolilo téměř clonu uzavřít, a zjednodušit tak měření. Hodnota souřadnic hlavního snímkového bodu (v pixelech) byla určena celkem ze sedmi měření jako $x'_0 = 388,5$, $y'_0 = 274,9$ se směrodatnými odchylkami vypočtenými z opakování $s_{x_0} = 4,7$, $s_{y_0} = 2,0$. Hodnota souřadnic je velmi blízká středu snímku.

Určení rozdílů osy záběru kamery a záměrné přímky teodolitu ve směrníku a svislém úhlu bylo posledním krokem kalibrace. Experiment pro jejich určení byl navržen tak, aby byl co nejvíce potlačen nepříznivý vliv centrace přístroje, který svou velikostí vzhledem k malým vzdálenostem při kalibraci (i při měření) může výrazně ovlivnit její výsledek. Pro získání základní představy lze uvést, že na vzdálenost 2,3 m chyba v centraci (nebo určení výšky přístroje) 0,5 mm ve směru kolmém na záměru způsobí systematickou chybu v určení úhlové opravy 0,013 gon. K poku-

su byla použita kalibrační matice, která byla vytvořena nalepením pravidelné bodové matice na listu papíru na rovnou plexisklovou desku. Body tvoří pravidelný rastr 12 x 18 bodů, sousední sloupce i řádky jsou vzdáleny 15 mm. Na okrajích desky bylo vytvořeno celkem šest dalších bodů, které slouží k určení rovnice roviny kalibrační matice. Na okrajích jsou umístěny vzhledem k nutnosti měření délek pásmem. Kalibrační matice byla umístěna ve vzdálenosti přibližně 2,3 m od teodolitu s připojenou kamerou.

Prostorovou polární metodou byly určeny souřadnice šesti okrajových bodů (měření úhlů teodolitem, měření délek pásmem, délky redukovány vzhledem k odsazení vztažného bodu teodolitu od tečky na alhidádě), následně byly zaměřeny vodorovný a zenitový úhel na levý horní, pravý horní, pravý dolní a levý dolní bod matice. Prostorové souřadnice rohových bodů matice byly získány jako průsečík roviny proložené šesti okrajovými body (výpočet s vyrovnáním metodou nejmenších čtvců) a přímky dané měřenými úhly. Mezilehlé body lze pak snadno dopočítat podle počtu sloupců a řádků. Kontrolou určení tvaru a rozměru matice bylo porovnání vzdálenosti sousedních bodů s ideálními hodnotami. Tímto postupem byl vyloučen vliv centrace na měření, protože souřadná soustava je zde definována umístěním a orientací teodolitu. Po určení souřadnic byly pořízeny snímky, a zároveň odečteny vodorovné a svislé úhly. Vzhledem k velikosti matice (vytištěna na formát A4) bylo pořízeno celkem pět snímků, a to čtyři umístěné v rozích, a zároveň pokrývající celé zorné pole, dále pátý kontrolní uprostřed (obr. 3).

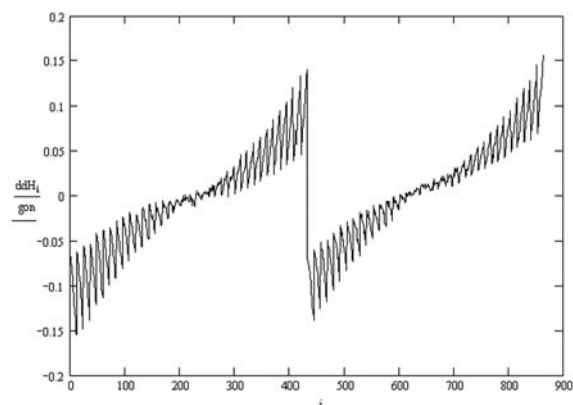


Obr. 4. Vektorové pole odchylek od průměrné hodnoty dV a dH

Snímky 1 až 4 (tedy celkem 864 bodů) byly vyhodnoceny a určené snímkové souřadnice spolu s dalšími hodnotami zpracovány podle vzorců (1) až (10) bez použití oprav dH , dV a odH , odV . Jejich hodnota byla určena jako průměrný rozdíl směrníku (zenitového úhlu) získaného měřením a vypočítaného ze souřadnic cílového bodu. Hodnoty rozdílů určených dH a dV od průměru na jednotlivých bodech byly značné, až do velikosti 0,10 gon. Struktura a relativní velikost jednotlivých rozdílů od průměru dH a dV jsou ve tvaru vektorového pole na obr. 4, dále pak jsou odchylky od průměrných hodnot znázorněny grafy na obr. 5 a obr. 6 (odchylky od průměrné hodnoty dH a dV jsou zde označeny ddH a ddV). Zde jsou hodnoty řazeny po jednotlivých snímcích v pořadí 1, 2, 4, 3 a v rámci snímků shora dolů a zleva doprava. Zobrazené odchylky ukazují zřejmý trend, který je pravděpodobně produktem sjednocených vlivů výrobních vad kamery, jako je nekolmost senzoru a spojnice vstupní pupila-hlavní snímkový bod a distorze objektivu.

Lze předpokládat, že uvedené vady mají podobný vliv při každém měření, a je proto možné potlačit jejich vliv vhod-

nou opravou. Vzhledem k tomu, že je zde smíšeno více vlivů, je vhodné použít pro výpočet opravy polynom. Byly použity členy do čtvrtého řádu včetně, po dosažení potřebné přesnosti bylo postupováno opačným směrem a vylučovány členy se zanedbatelným vlivem na výslednou přesnost. Výsledkem výpočtů jsou vzorce pro opravu vypočtených úhlů odH a odV ve tvaru (11) a (12) a také hodnoty $dH = -0,5420$ gon, $dV = 0,7368$ gon. K výpočtu bylo použito celkem 864 bodů na čtyřech snímcích. Výsledný tvar reziduí po opravě je stejným způsobem jako bez opravy ukázán na obr. 7 až obr. 9.



Obr. 5. Graf odchylek ddH

$$odH = \left(x'_T \quad y'_T \quad (x'_T)^2 \quad (y'_T)^2 \quad x'_T \cdot y'_T \quad (x'_T)^3 \quad \frac{y'_T}{|y'_T|} \cdot x'_T \right) \cdot \mathbf{a}, \quad (11)$$

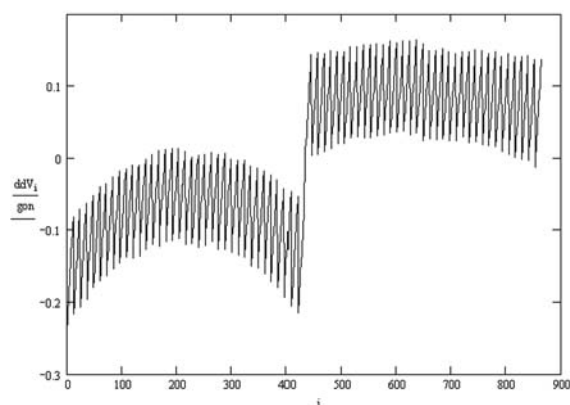
$$odV = \left(1 \quad y'_T \quad (x'_T)^2 \quad (x'_T)^2 \cdot (y'_T) \quad \frac{y'_T}{|y'_T|} \cdot (x'_T)^2 \right) \cdot \mathbf{b}, \quad (12)$$

kde vektory konstant \mathbf{a} a \mathbf{b} jsou

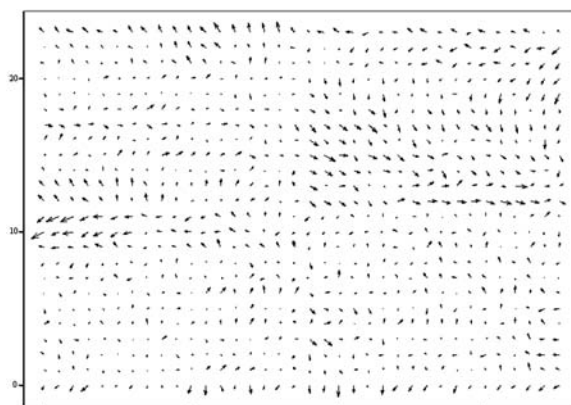
$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} 3,105\,021\,033\,506\,16 \cdot 10^{-6} \\ 6,270\,070\,207\,363\,39 \cdot 10^{-7} \\ 5,553\,790\,805\,366\,30 \cdot 10^{-10} \\ 1,122\,692\,497\,659\,09 \cdot 10^{-9} \\ 1,585\,087\,069\,325\,99 \cdot 10^{-8} \\ 1,054\,701\,535\,899\,10 \cdot 10^{-11} \\ -2,151\,619\,495\,986\,36 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} 3,368\,071\,075\,968\,89 \cdot 10^{-4} \\ 7,887\,061\,107\,281\,86 \cdot 10^{-6} \\ -7,401\,905\,953\,446\,16 \cdot 10^{-9} \\ 1,388\,209\,186\,734\,70 \cdot 10^{-11} \\ 2,067\,685\,653\,591\,64 \cdot 10^{-9} \end{pmatrix}.$$

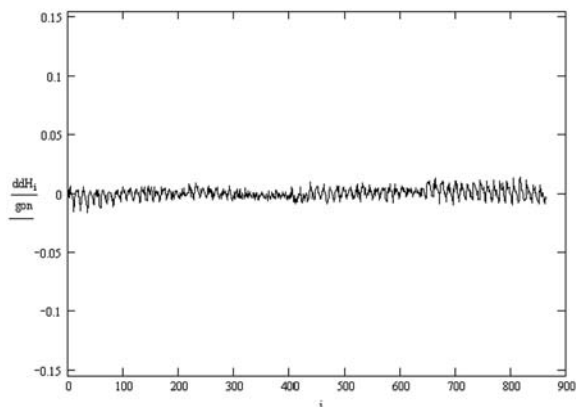
Bez použití oprav odH a odV byly směrodatné odchylky jednoho měření při určení dH a dV $s_{dV} = 0,0558$ gon a $s_{dH} = 0,0943$ gon. Využitím uvedených oprav se směrodatné odchylky snížily na $s_{dV} = 0,0044$ gon a $s_{dH} = 0,0041$ gon. Z těchto hodnot nelze soudit na vhodnost a účinnost zavedených oprav, protože byly počítány ze stejných dat. Proto byl provedeno měření a pořízen snímek 5, jehož umístění zároveň kontroluje, zda chyby nejsou pouze produktem kalibračního pole (v podstatě lze říci, že jsou „na sebe“ umístěny body protilehlých kvadrantů kalibračního pole). Po jeho vyhodnocení a zavedení oprav odH a odV byly získány hodnoty ekvivalentní $dH = -0,5449$ gon a $dV = 0,7376$ gon (rozdíl 0,0029 gon a 0,0008 gon). V porovnání s tím, že nejmenší úhlový dílek měřený kamerou



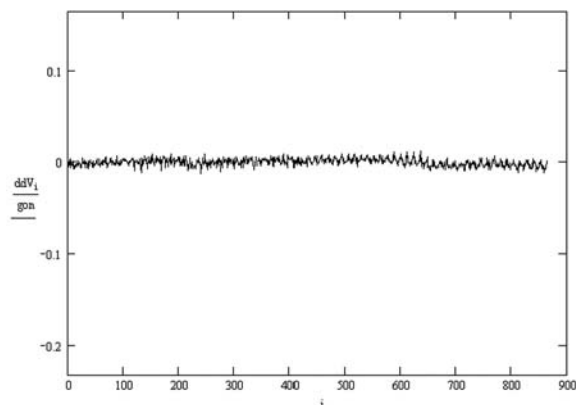
Obr. 6. Graf odchylek ddV



Obr. 7. Vektorové pole odchylek ddV a ddH s opravou odH a odV



Obr. 8. Graf odchylek ddH s opravou odH



Obr. 9. Graf odchylek ddV s opravou odV

reprezentuje přibližně 0,0210 gon, jsou uvedené rozdíly minimální.

Ověření přesnosti kalibrace

Cílem pokusu bylo odhadnout přesnost určení směrníku (vodorovného úhlu) a zenitového úhlu bez vyloučení vlivu určení souřadnic stanoviska (zde vstupní pupily kamery). Přesnost kalibrace byla ověřena nezávislým měřením založeným na stejném principu. Byla použita stejná kalibrační matice a postup určení souřadnic jejích bodů a stejně zpracování naměřených dat. K vyhodnocení byly použity celkem tři snímky kalibrační matice v různém umístění v zorném poli kamery. Výsledkem měření je vlastně definice přímky, která v ideálním případě prochází přesným umístěním měřeného bodu. K posouzení přesnosti měření je tedy možné použít ekvivalent vzdálenosti bodu od přímky. Tímto způsobem bylo měření zpracováno a výsledkem jsou hodnoty:

- pro vodorovnou složku měření byla zjištěna průměrná odchylka $-0,49$ mm, směrodatná odchylka $0,77$ mm,
- pro svislou složku byla zjištěna průměrná odchylka $-0,67$ mm, směrodatná odchylka $0,72$ mm.

Těmto hodnotám jsou ekvivalentní úhlové hodnoty $-0,014$ gon, $0,021$ gon a $-0,018$ gon, $0,020$ gon. Výsledky ukazují velmi úzkou vazbu přesnosti měření a vzdálenosti středů dvou sousedních prvků snímaného digitálního obrazu.

Štroner, M.: Design and Calibration of a Measuring System Composed of the Theodolite and the Digital Camera

This article presents the design and calibration of equipment composed of the digital camera and the theodolite. This system can measure both the horizontal and vertical angles over short distances by combining measurements done with the theodolite and scanning of video data conducted with the digital camera.

Závěr

V článku byl prezentován návrh a postup kalibrace měřicí aparatury složené z teodolitu a digitální kamery. Výsledkem pokusů a výpočtů je soubor konstant a vzorců, které umožňují určení polohy vstupní pupily kamery a směrníku a zenitového úhlu z měřených snímkových souřadnic, známých souřadnic stanoviska, orientace a měřených hodnot vodorovného a zenitového úhlu s odhadnutou přesností blíží se velikosti jednoho pixelu (pro vodorovný úhel je přesnost měření vyjádřena směrodatnou odchylkou $0,021$ gon, pro svislý úhel $0,020$ gon). Přístroj byl kalibrován a ověřován na vzdálenost $2,0$ až $2,5$ m.

Práce vznikla za podpory projektu č. 103/02/0357 GA ČR „Moderní optoelektronické metody topografie ploch“.

Literatura

- [1] Hanzl, V.: Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektivu. Geodetický a kartografický obzor, **32/74**, 1986, č. 5.
- [2] Pavelka, K.: Fotogrammetrie 10 a 20. Praha, Vydavatelství ČVUT 1998.

Štroner, M.: Entwurf und Kalibrierung eines durch einen Theodoliten und eine Digitalkamera gebildeten Messsystems

Im Artikel wird der Entwurf und Kalibrierung eines durch einen Theodoliten und eine Digitalkamera gebildeten Messsystems vorgestellt, das zur Messung horizontaler und vertikaler Winkel auf kurze Entfernungen mittels der Kombination der Messung mit dem Theodoliten und der Aufzeichnung von Bilddaten durch eine Digitalkamera dienen soll.

• dizertace



Informační systémy pro on-line poskytování odborných geodetických informací a jejich tvorba

Ing. Milan Talich

V dizertaci je vytvořena největší on-line bibliografická databáze na světě, zaměřená na obory související s geodézií. Databáze je součástí všeobecně přístupného informačního systému.

Matematické modelování objektů stokové sítě

Ing. Jaroslav Pollert

Práce přináší původní výsledky týkající se přístupu a metodiky tvorby geometrie složitých hydraulických objektů a vytvoření výpočetní mřížky. Komplexní program byl implementován pro řešení podmínek množství a jakosti vody. Metodika je aplikována na řešení významné srážkové události na vybraném oddělovači dešťových vod v pražské kanalizační síti.

Dynamické chování betonových mostů předpjatých vnějšími kabely

Ing. Petr Karásek

V práci se zjišťuje vliv předpětí v kabelech betonových mostů na dynamické chování mostů, a tím přeneseně i na jejich únavovou životnost. Z dynamických charakteristik významné mostní konstrukce určených modální analýzou se odvozuje skutečná velikost předpínací síly.

Nelineární statická analýza komorových mostů

Ing. Jiří Niewald

Dizertace je zaměřena na matematické modelování skutečného působení komorových mostů z předpjatého betonu při vysokých hladinách namáhání a na stanovení mezní únosnosti těchto konstrukcí. Teorie je dokumentována analýzou významného mostu a ověřena porovnáním s výsledky modelového měření.

Potenciál využití soudobých metod projektového řízení ve stavební firmě

Ing. Kateřina BOČKOVÁ
Univerzita Tomáše Bati
Zlín

V posledních letech začal stavební trh požadovat změnu při realizaci projektů. Je vyvíjen velký tlak na dodavatele různých částí projektu – projektová dokumentace, výstavba, financování. Všechny tyto vlivy by si měly jednotlivé stavební firmy uvědomovat a měly by začít analyzovat vzniklou situaci na stavebním trhu, měly by se zaměřit na aplikaci moderních metod projektového řízení a kritického řetězce.

Úvod

Již v době, kdy lidé poznali a začali uplatňovat dělbu práce a vytvářet seskupení k dosažení cílů, kterých by jako jedinci nedosáhli, se stalo řízení jednou z jejich nejdůležitějších činností. Termín projektové řízení se v takové formulaci objevil až ve dvacátém století, nicméně projektové řízení se vyskytuje paralelně po celou dobu existence lidské civilizace.

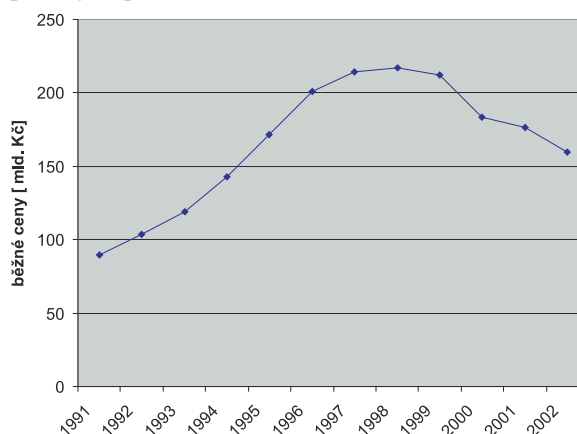
Současná doba vyžaduje, abychom uskutečňovali řadu změn a velkých akcí ve velmi krátkých termínech, s limitovanými náklady a omezenými zdroji. Přitom rychlý běh života současné společnosti neumožňuje dosáhnout cílů opakováním. Ostrá konkurence nutí firmy snižovat náklady a plánované náklady dodržovat. Podobně to platí i o termínech. V České republice, kde zatím nejsou disponibilní tuzemské investice k dispozici, se ještě stále šetří finančními prostředky s následnými časovými odhady. Ve vyspělých západních zemích je však čas kritickým faktorem úspěchu.

Česká republika brzy vstoupí mezi státy Evropské unie. Tento krok s sebou přináší řadu úskalí a staví před naše firmy, především malé a střední (dělení podle SME přijaté Evropskou komisí), úkol posílit svou konkurenční schopnost. Důvodem je, že vysokým nárokům otevřeného evropského trhu mohou vyhovět pouze úspěšné firmy. Jedna z oblastí, ve které mají naše firmy rezervy, je schopnost uskutečňovat cíle, které jsou plánované, a uskutečňovat tyto cíle s maximální jistotou. Podle průzkumu, provedeného v rámci výzkumu konkurenční schopnosti českých průmyslových výrobců, jehož nositelem je FaME UTB ve Zlíně, nechybí v 80 % českých firem (s prioritou Zlínského regionu) zásoba plánů, kvalitních a ambiciózních, ale nedostatky jsou pocíťovány ve schopnostech je uskutečnit v daném termínu, s plánovanými náklady a efektivním využitím. Pro využití těchto rezerv a pro posílení pozice by podniky měly aplikovat projektové řízení jako nástroj a faktor konkurenceschopnosti.

Řízení projektů spojených s výstavbou

Stavebnictví je v České republice jedním z nejvýznamnějších odvětví národního hospodářství. Díky multiplikacím efektům příznivě ovlivňuje rozvoj v dalších odvětvích. Na tvorbě hrubého domácího produktu se podílí 7 %. Podobně jako jiná odvětví prošlo stavebnictví od

počátku devadesátých let určitým vývojem (obr. 1). Na stavebním trhu ČR a na celkovém objemu realizovaných stavebních prací se v období leden–srpen 2002 podílelo 80 tis. malých stavebních podniků (s méně než 25 zaměstnanci) a 1 710 tis. podniků středních (nad 25 zaměstnanců). Velké stavební společnosti (s počtem pracovníků nad 1 000) se podílely na produkci 14,5 %.



Obr. 1. Vývoj českého stavebnictví

Na základě šetření, provedeného dotazníkovou formou na jaře roku 2002 ve Zlínském regionu s prioritou Uherské Hradiště, v malých a středních stavebních firmách [6] jsme nuceni konstatovat, že projektové řízení není zavedeno a běžně užíváno. Přitom skutečnost, že výstavbu stavebních celků je žádoucí realizovat formou projektu (a ve stavebních firmách se v jednom časovém období realizuje více staveb) nabízí pro projektové řízení vhodné pole působnosti pro zlepšení jejich řízení.

Projektové řízení není u nás obecně známo. Firem, kde dobře funguje, je dosud málo a jsou to většinou pobočky firem se zahraniční účastí nebo se západními manažery na vedoucích funkcích. Kromě jiného spočívá příčina také v tom, že někteří pracovníci a manažeři se nechtějí učit nové metody, jsou z hlediska zavádění nových postupů konzervativní.

Ilustrací nezájmu může být výsledek šetření [6]. V zájmu spolupráce při zavádění **projektového řízení** a využívání metodiky **kritického řetězce** bylo osloveno sto malých a středních stavebních firem. Z toho 95 % je přesvědčeno, že realizaci výstavby formou projektu je projektové řízení a nemá zájem o získání bližších informací. Další 4 % mají zájem o nové informace, o případné zavádění projektového řízení, ale až ve fázi, kdy se bude běžně užívat a bude v praxi vyzkoušeno. Pouze 1 % firem bylo ochotno začít s využíváním principů projektového řízení a vyzkoušení aplikace nové metody kritického řetězce [4].

Projekt výstavby

Projekt výstavby spojené s výstavbou jsou často nazývány investiční projekty. Tato skutečnost souvisí s pojmem, který zavedla česká legislativa. Zahrnuje vše, co souvisí se stavbou, na kterou se vztahuje stavební zákon č. 50/1976 Sb.

ve znění pozdějších novel. Tento zákon reguluje investiční výstavbu jak z hlediska území, tak i ve vztahu k provádění staveb [5]. V současnosti mají projekty tyto problémy:

- překročení rozpočtu (pravděpodobnost výskytu 41 %),
- nedodržení termínů (9 %),
- časté změny obsahu (48 %),
- nedodržení kvality (2 %).

Projekt jako takový se vyvíjí v uzavřeném **cyklu**, který u každého projektu probíhá ve třech fázích:

- předinvestiční,
- investiční,
- provozu a vyhodnocení.

Cyklus projektu je rozdělen do fází z hlediska odpovědnosti za jejich řízení, ale též z hlediska vynakládání investic. Toto dělení je velmi obecné, hodí se pro jakýkoli projekt bez respektování jeho specifik. Stavební firma a stavební výroba má však řadu specifik, která je nutno při jeho strukturování brát v úvahu. Specifika stavebního podniku vyplývají z charakteru jeho výroby a následně hotového produktu. Pokud chceme do stavební firmy zavést projektové řízení, je nutno tato specifika respektovat a následně strukturování projektu jim podřídít.

Žádný projekt, ani projekt výstavby, se neobejde bez manažera projektu. U projektu výstavby mohou být pojmy manažer projektu a vedoucí stavby ztotožněny, nebo mohou být považovány za dvě různé funkce. Rozlišovacím znakem může být **kvalifikace**. Pro obě funkce je třeba mít znalosti manažera projektů a engineeringu, funkce vedoucího stavby navíc vyžaduje podle stavebního zákona zvláštní způsobilost, a posléze autorizaci na úrovni autorizovaného inženýra nebo technika [5].

Teorie omezení a kritický řetězec ve stavební firmě

Řešení velkých projektů je zpravidla komplikováno faktem, že projektu se účastní velké množství smluvních stran. Každá z nich chce dosáhnout vlastního cíle a uspokojení vlastních potřeb.

TOC/TP

Teorie omezení (Theory of Constraints – TOC) je novým přístupem k řízení a trvalému zlepšování organizace tak, aby lépe dosahovala svého cíle. Vytvořil a rozvinul ji jeden z nejvýraznějších manažerských myslitelů tohoto století, autor několika světových bestsellerů a zakladatel úspěšné sítě poradenských firem dr. Eliyahu M. Goldratt, kterého časopis Business Week nazývá novým „guru“ podnikání. Poprvé tuto teorii uvedl dr. Goldratt v knize *The Goal* (Cíl), která vyšla i v české verzi [3].

Hlavní myšlenkou teorie omezení je skutečnost, že každý reálný systém zahrnuje minimálně jedno úzké místo – omezení. V případě, že by v systému takové místo nebylo, pak by systém (podnik) dosahoval svého cíle neomezenou rychlostí a v neomezeném množství. U systémů, jejichž hlavním cílem je stále dosahování zisku, by zisk nyní i v budoucnosti narůstal bez omezení [3].

Teorie omezení cílů (TOC) není samostatně se vyskytující nástroj zlepšování firemních procesů. Navazují na ni ostatní nástroje řízení označované jako TOC/TP. Mezi tyto nástroje patří pro potřeby řízení stavebních firem **metoda kritického řetězce**. TOC má usnadnit nejen stavebním podnikům, ale i jiným organizacím vytvoření vlastních řešení, která odstraní problémy označované v podstatě za neřešitel-

né [4]. Na základě dosavadních implementací, především zahraničními stavebními firmami, je TOC/TP účinná metodika řešení konkrétních problémů i dlouhodobých konfliktů uvnitř organizací.

Mnoho stavebních firem je schopno si spočítat potenciální výhody takového stavu, jako je dokončení projektů včas, nepřekročení rozpočtů a dodržení původních specifikací, uvědomuje si možnost ušetření nákladů, dodatečných tržeb, zvýšeného podílu odbytu na trhu. Řada firem již vyvíjela vlastní iniciativu a využívala programy pro zlepšení výsledků, ale tyto výsledky nepřinesly dlouhodobě **udržitelná** zlepšení [2].

Většina stavebních projektů se realizuje za účelem vytvoření nového stavebního díla, např. betonárny, rodinného domu, tenisové haly, nebo v zájmu modifikace již existujícího celku, jako je přidání dalšího jízdního pruhu silnice či dálnice. V každém případě dokončení tenisové haly dva týdny po začátku Davisova poháru nebo dokončení kongresového centra po zahájení konference má velmi nepříznivé důsledky pro vlastníka projektu.

Důležitou charakteristikou uvedených skutečností je **kontrahování** zdrojů, které se provádí ve vazbě na jednotlivé činnosti projektu výstavby podle strukturního plánu. Není neobvyklé, že jednotlivé zdroje (pracovníci a jejich dovednosti, finanční zdroje, technické prostředky) jsou často vázány k více než jedné činnosti v jednom projektu. Stavebnictví je typickým příkladem **multiprojektování**. Nevýhodou projektů výstavby je rovněž malá schopnost podrobně navrhovat činnost jednotlivých subdodavatelů se stanovením termínů. Zde je správním vakuem jejich zdroje přímo řídit.

Rozhodnutí týkající se použití **omezených zdrojů** je třeba řešit kompromisem. Kompromis se jeví jako střet mezi dostupností zdrojů od definiční fáze projektu výstavby až po fázi dokončení. Je třeba rozhodnout o nejlepší možné variantě alokace zdrojů. Samozřejmě bychom mohli využít klasické finanční přepočty pomocí **Net Present Value** nebo **Net Future Value**, postup však neřeší omezené zdroje. Právě limitování zdrojů je jedním z hlavních faktorů úspěšného projektového řízení staveb

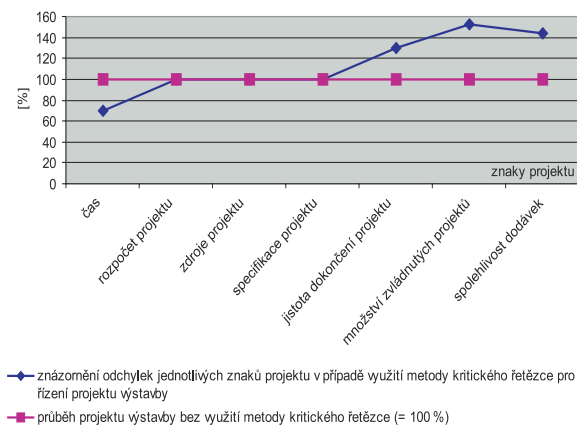
Teorie omezení v rámci projektového řízení využívá k vyjádření výše investic omezeného zdroje indikátor, který se nazývá **Flush**. Charakteristika řeší kvantifikaci omezeného zdroje investice, neřeší jeho časové využití, které je součástí projektového plánování a řízení [2]. Trvání projektu výstavby je dáno harmonogramem projektu (např. metodou kritické cesty), ale i vyřešením problematiky omezených zdrojů a jejich rozvržení v projektu výstavby. Faktory by měly být důsledně řízeny a chápány jako omezení.

Je účelné se seznámit s principem metod TOC a kritického řetězce a s požadavky na změny firemní organizace, kultury a jiných aspektů při jejich zavádění, pak je aplikovat na jeden zkušební projekt, a nakonec projektové řízení v této podobě zavést do obecného podvědomí firmy. Obě tyto metody úzce souvisí.

Při aplikaci TOC ve stavební firmě je třeba se zaměřit na nejslabší článek systému stejně jako v jiných organizacích. Je vhodné k tomu využít dotazník, který by měla vyplnit široká veřejnost i jednotliví pracovníci firmy na různých úrovních řízení. Uvedeným způsobem lze identifikovat úzká místa – omezení určitého stavebního podniku (*tab. 1*). V konkrétním případě vyplnilo dotazník 200 subjektů, z toho 60 % tvořily stavební firmy zabývající se kompletní dodávkou staveb i subdodávkami, 20 % pracovníci podniků zabývajících se dodávkou stavebních materiálů, provozních souborů a vybavení stavenišť, zbývajících 20 % veřejnost.

Kritický řetězec

Jakmile firma identifikuje svá omezení a naučí se je řídit, může přistoupit k aplikaci kritického řetězce. Předběžné výsledky aplikace ve stavební firmě jsou uvedeny v grafu na obr. 2. Mají zatím pouze informativní charakter, jsou získány z jednoho typu pilotního projektu. Aby měly vyšší vypovídací schopnost, musí být aplikace kritického řetězce vyzkoušena u více projektů.



Obr. 2. Výsledky aplikace metody kritického řetězce na pilotním projektu výstavby

Část zásad metody kritického řetězce představuje v podstatě nápravu chyb vyskytujících se při aplikaci klasické metody (opírající se o CPM či PERT), tedy nikoli o chyby metody, ale jejího uplatnění [1]. Posláním metody je zvýšení výkonnosti projektu. Vyjadřuje především výraznou změnu přístupu, která se dotkne každého účastníka projektu. Aplikace vyžaduje dostatečný systém řízení zdrojů a navrhování opatření v projektech v souvislosti s kritickými zdroji [1].

Tab. 1. Omezení projektu výstavby

Omezení projektu			
1. úroveň	2. úroveň	3. úroveň	4. úroveň
zajištění nejkratšího trvání projektu	časové řízení projektu	hlavní události: ukončení určitých dodávek většinou požaduje investor, zákazník nebo je dáno vnějšími faktory (soudně stanovené datum dokončení projektu)	
vyřešení střetu mezi zdroji	finanční řízení projektu	předem definovaný rozpočet: o rozsahu projektu, počtu pracovníků i harmonogramu rozhoduje tým	
	projektové personální řízení	omezení mohou být různá, a to:	<ul style="list-style-type: none"> ● organizační struktura ● kolektivní smlouvy, mohou mít vliv na organizaci nebo na informační vazby v případě, že skupiny zaměstnanců jsou účastníky projektu ● preference řídicího týmu projektu ● předpoklady pracovníků k plnění úkolů
	obchodní řízení projektu	ustanovení kontraktu	

Pro snadné a přehledné řízení firmy metodou kritického řetězce by bylo vhodné zavést jinou organizační strukturu, která by nahradila v současnosti hojně používanou hierarchickou (používá ji dosud cca 63 % českých podniků). Typické dlouhé komunikační kanály mohou způsobit zdržení příkazů nebo včasné poskytnutí informací. Dobrá organizační struktura musí odpovídat rozsahu jednotlivých projektů z hlediska pravomoci, odpovědnosti a kontroly. Měla by mít zachovány vztahy podřízenosti a nadřízenosti a být zvolena i s ohledem na průhledné sledování toku a řízení nákladů a dodržování termínů.

Obecné metody projektového řízení nabízejí celou škálu organizačních struktur. Ne všechny jsou však vhodné pro projekt výstavby. Pro stavební firmu je nejvhodnější projektová struktura, pokud stavební firma realizuje permanentně menší množství projektů, síťová struktura. Samozřejmě se zaváděním projektového řízení a nové organizační struktury musí souhlasit všichni pracovníci vedení podniku a musí být podpořeno vrcholovým vedením firmy. Management má vytvořit vhodné prostředí pro dosahování projektových cílů a realizaci projektových prací.

Literatura

[1] Goldratt, E. M.: Kritický řetězec. Praha, InterQuality 1999.
 [2] Goldratt, E. M.: Cíl. Praha, Goldratt CZ 1999.
 [3] www.goldratt.com
 [4] Vráblík, M. a kol.: Konkurenceschopnost malých a středních firem. [Dílčí výzkumná zpráva], CZE:J22/98:265300021 Výzkum konkurenční schopnosti českých průmyslových výrobců. Zlín, 2002.
 [5] Matějka, V. – Mokry, J. a kol.: Dos M 15 – Management projektů spojených s výstavbou. Praha, IC ČKAIT 1998.
 [6] Bočková, K.: Management projektů spojených s výstavbou metodou kritického řetězce [Dizertace], UTB Zlín, 2002.

Bočková, K.: Potential Application of Current Methods of Project Management in Construction Firms

Recently the construction market has begun to require changes in undertaking construction projects. Sub-contractors of particular parts of the construction project, such as project documentation, construction, and financing, have come under pressure. Construction firms should realize all these above mentioned effects and they should begin to analyze the situation arising in the construction market. They should focus on the application of modern methods of project management – TOC and the critical chain.

Bočková, K.: Potenzial der Anwendung der gegenwärtigen Methoden des Planungsverfahrens in einer Baufirma

In letzter Zeit begann der Baumarkt Veränderungen bei der Bauplanung zu verlangen. Es wird ein starker Druck auf die Auftragnehmer verschiedener Teile des Projekts, die Planung, die Bauausführung und die Finanzierung, entwickelt. Alle diese Einflüsse sollten sich die Baufirmen bewusst zu machen beginnen, die entstandene Situation auf dem Baumarkt analysieren. Sie sollten sich auf die Anwendung moderner Methoden des Projektmanagements – TOC und kritische Kette – konzentrieren.

• osobní zprávy

Zemřel nestor českých vodohospodářů prof. Ing. Dr. Ladislav Votruba, DrSc.



Dne 1.10.2002 zemřel ve věku 88 let nestor českých vodohospodářů a přehradářů pan prof. Ing. Dr. Ladislav Votruba, DrSc. Významný český vodohospodářský odborník, který na Fakultě stavební ČVUT založil vědeckou školu v oborech vodohospodářských řešení nádrží, vodohospodářských soustav a přehradního stavitelství, se věnoval i dalším otázkám inženýrství, výchově a rozvíjení tvůrčí činnosti techniků

a inženýrů, vysokoškolské pedagogice a v posledních letech pak zvláště otázkám historie vodního hospodářství a vodního stavitelství a jeho vztahů k životnímu prostředí.

Narodil se 6.5.1914 v Radlicích na Kolínsku. Vystudoval na Vysoké škole inženýrského stavitelství při ČVUT a dalších plných padesát let svého života věnoval zanícené pedagogické činnosti na Českém vysokém učení technickém. Na Fakultě inženýrského stavitelství byl v několika funkčních obdobích děkanem, popř. proděkanem, a členem vědeckých rad. V sedmdesátých letech byl vedoucím katedry hydrotechniky na stavební fakultě. Vždy se aktivně podílel na všech významných krocích a pracích, které kdy ČVUT a jeho Fakulta stavební podnikaly v oblasti koncepce studia či studijních plánů. Ještě po roce 1990 byl členem Vědecké rady ČVUT. Přednášel řadu profilových a dalších předmětů, z nichž mnohé vůbec jako první koncipoval a zavedl je jakožto bezprostřední odraz světového odborného a vědeckého vývoje v oboru.

O veškeré dění na ČVUT, na fakultě a na katedře se zajímal téměř do posledních dnů svého života. Byl v přímém kontaktu se svými žáky, spolupracovníky a přáteli, připravoval rukopisy článků a studií z různých oblastí, jimiž se ve stále tradičně širokém záběru zabýval a podle možností se zúčastňoval i odborných akcí. Okolí velmi oceňovalo jeho roli moudrého a vlídného rádce. Nacházelo u něj vždy velkorysou a obětavou podporu.

Pro vodohospodářskou vědu a praxi přinesl originální poznatky zejména v oblasti zavádění pojetí zabezpečení, resp. spolehlivosti do vodohospodářských řešení, aplikací teorie pravděpodobnosti a teorie náhodných procesů ve vod-

ním hospodářství a ve výzkumu vodohospodářských soustav. V oblasti vodohospodářských staveb, jmenovitě přehrad, patřil mezi nejpřednější authority nejen u nás, ale i ve světě. Zabýval se v podstatě všemi dílčími oblastmi přehradní výstavby, z nichž lze připomenout moderní technologie výstavby přehrad a později i odkališť a použití v tehdejších dobách netradičních materiálů. Byl činný v prestižní Mezinárodní přehradní komisi, jejímž byl v sedmdesátých letech minulého století viceprezidentem. Mezinárodní věhlas získal mimo jiné účastí na expertizách po katastrofě vodního díla Vajont v Itálii v šedesátých letech minulého století, které byly vysoce ceněny pro hluboké vědecké založení a příkladnou objektivitu.

Rozsáhlá a pilná vědeckovýzkumná a odborná činnost podnítila vznik stovek vědeckých a odborných prací a publikací, z nichž lze uvést např. monografie „Hospodaření s vodou v nádržích“ (s V. Brožou), „Vodohospodářské soustavy“ (s K. Nacházelem a kol. autorů), které byly přeloženy též do angličtiny, popř. do ruštiny, a další monografie „Spolehlivost vodohospodářských děl“ (s J. Heřmanem a kol.) a „Teplotní a zimní režim toků, nádrží a vodních děl“ (s A. Paterou). Do autorských týmů vědeckých studií a monografií vždy příkladně zval mladší kolegy a spolupracovníky.

Poslední roky svého plodného života věnoval zejména historii vědy a techniky se zaměřením na obory vodního hospodářství a vodního stavitelství a neustále aktuálním otázkám vztahu vodohospodářské činnosti a vodohospodářských staveb a životního prostředí. V této době vznikly např. jeho knihy „Vztahy mezi vodním hospodářstvím a přírodou v České republice“ a „Rozvíjení tvůrčí činnosti techniků“.

Profesor L. Votruba byl mezinárodně uznávanou odbornou, vědeckou a pedagogickou osobností a vynikajícím členem akademické obce ČVUT a jeho Fakulty stavební, který se významně zapsal do jejich historie. Jeho početní žáci, spolupracovníci a přátelé vysoce oceňovali jeho vysoké odborné, vědecké, pedagogické a lidské kvality a mimořádnou pracovitost a všestrannost.

Čest jeho památce!

Adolf Patera, František Čihák