



POROVNANIE MODELOVANIA OCEĽOVÝCH LÁN VO VYBRANÝCH CAD SOFTVÉROCH

Gabriel Fedorko¹, Eva Stanová², Nikoleta Husáková³, Dávid Mathé⁴

Kľúčové slová: oceľové lano, modelovanie, CAD

Abstrakt:

Práca je zameraná na analýzu a porovnanie CAD programov pre potreby modelovania oceľového lana. Proces samotného modelovania je zložitý postup, ktorý je jedinečný pre všetky programy v závislosti od prepracovanosti daného programu. Na základe dostupnosti boli vybrané programy Pro/Engineer Wildfire 3 a Catia V5 z oblasti veľkého CAD-u a SolidWorks z oblasti CADu prechodového prúdu.

1. Úvod

V mnohých priemyselných odvetviach predstavujú oceľové laná veľmi dôležitú strojovú súčiastku z dôvodu, že sa používajú pri ťažbe surovín, sú veľmi dôležitou súčasťou žeriavov, mostov, lanových dráh a rovnako veľmi dôležitú úlohu zohrávajú aj pri doprave ľudí. CAD systémy sú programy pre technickú prípravu výroby. Umožňujú vykonávať rutinné práce spojené s konštruovaním výrobku na počítači. Uľahčujú tvorbu prvých nákrsov budúceho výrobku a umožňujú zabezpečiť až 25 % časovej úspory v oblasti projekčno-konštruktérskych prác. CAD systémy sa využívajú vo všetkých odvetviach priemyslu, najmä v strojárstve, stavebníctve, hutníctve, automobilovom priemysle, leteckom priemysle a v mnohých ďalších odvetviach, kde sa navrhujú nové technológie.

Modelovanie v CAD systémoch umožňuje vizualizáciu nového ešte nevyrobeného výrobku a jeho odskúšanie. Tento proces šetrí finančné prostriedky, rovnako aj materiál a do výroby sa tak môže dostať výrobok, ktorý spĺňa všetky jeho budúce požiadavky. Proces návrhu, vývoja, výroby a analýzy oceľových lán je náročný proces. Jednou z možností pre jeho urýchlenie a zefektívnenie je využívanie jednotlivých CAD systémov, ktoré predstavujú silný pracovný a analytický nástroj. V súčasnosti existuje široká škála rôznych CAD softvérov, ktoré sa navzájom medzi sebou líšia či už spôsobom tvorby geometrie, príkazmi, zadávaním parametrov, ovládaním, modelovacími funkciami a nástrojmi atď.. CAD systémy v oblasti oceľových lán sa môžu uplatniť pri analýze geometrických parametrov lán, pri návrhu konštrukcie, na skúmanie dotyku jednotlivých drôtov, vrstiev, pre tvorbu výpočtových modelov apod.. Otázkou je však, ktorý CAD systém je pre modelovanie lán vhodný, resp. v ktorom je proces modelovania jednoduchý, presný, a v ktorom je náročný, resp. nerealizovateľný.

2. Modelovanie oceľového lana v CAD

Proces tvorby CAD modelu oceľového lana v porovnávaných softvéroch vychádza z jeho matematického modelu, ktorý je popísaný parametrickými rovnicami osi drôtu lana. Vo všeobecnosti

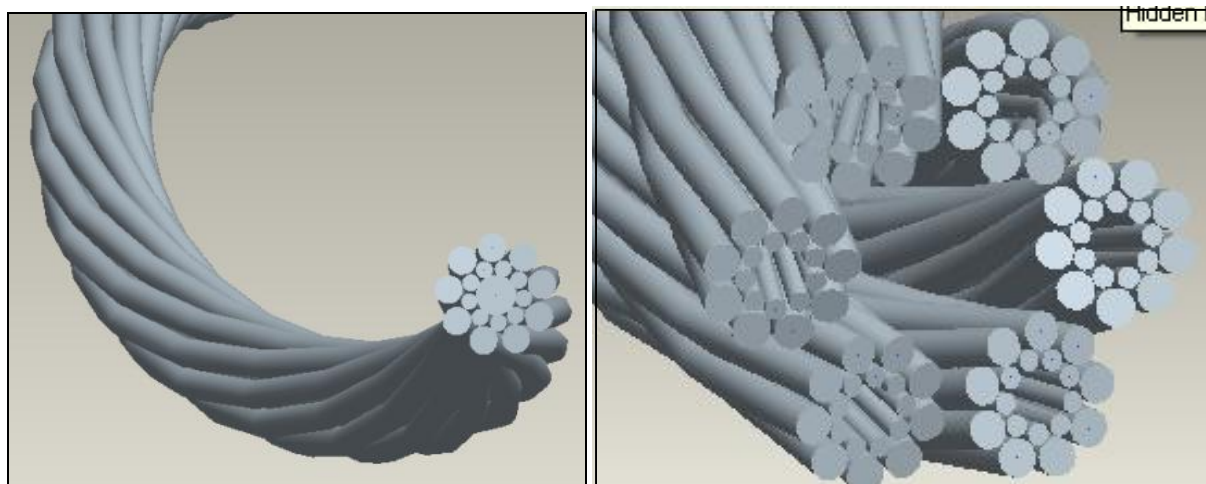
¹ **doc. Ing. Gabriel Fedorko, PhD.**, Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 3143, Fax: +421 55 602 3126, e-mail: gabriel.fedorko@tuke.sk

² **RNDr. Eva Stanová, PhD.**, SvF TU v Košiciach, Ústav technológií, ekonomiky a manažmentu, Vysokoškolská 4, 040 22 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 4886, e-mail: eva.stanova@tuke.sk

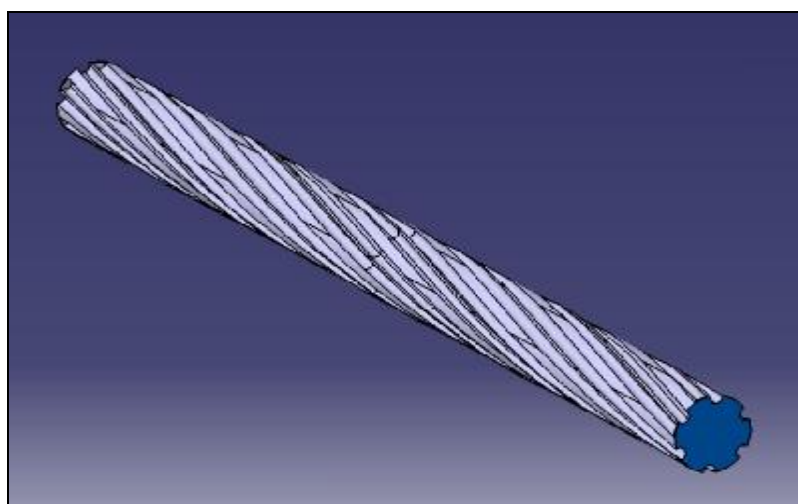
³ **Ing. Nikoleta Husáková, PhD.**, Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 3146, Fax: +421 55 602 3126, e-mail: nikoleta.husakova@tuke.sk

⁴ **Bc. Dávid Mathé**, Fakulta BERG TU v Košiciach, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovensko, Tel.: +421 55 602 3143, Fax: +421 55 602 3126

sa najprv vytvorí krivka osi drôtu, následne sa zhotoví model drôtu. Z vytvoreného modelu drôtu sa potom v ďalšom kroku zrealizuje prameň oceľového lana (Obr. 1), z ktorého sa podľa typu konštrukcie vytvorí konečný model oceľového lana (Obr. 1) a ten sa na záver doplní modelom duše oceľového lana (Obr. 2). Vo všetkých troch CAD softvéroch bol realizovaný rovnaký model oceľového lana SEAL 6x(1+9+9)+v.



Obr. 1 Model prameňa oceľového lana a oceľového lana bez jednotlivých duší v CAD programe Pro/Engineer Wildfire 3



Obr. 2 Model duše oceľového lana v CAD programe CATIA v5

Podrobný postup modelovania oceľových lán v jednotlivých analyzovaných softvéroch nebude v tomto článku realizovaný, pretože už bol publikovaný vo viacerých predchádzajúcich článkoch.

3. Porovnávanie a hodnotenie modelovania oceľových lán v CAD softvéroch

Pred samotným porovnávaním modelovania oceľového lana v jednotlivých softvéroch je potrebné v prvom rade určiť kategórie a veličiny, ktoré sa budú sledovať, merať a porovnávať, aby konečný výsledok bol objektívny a pravdivý. V prezentovanom článku boli za porovnávacíe veličiny zvolené:

- počet kliknutí myšou pri modelovaní,
- čas modelovania,
- práca s matematickými vyjadreniami,
- náročnosť a celkový dojem.

3.1 Počet kliknutí pri modelovaní

Pri modelovaní oceľového lana je potrebné mnohokrát kliknúť myšou na okná, položky a príkazy. Pri meraní počtu kliknutí boli stanovené rovnaké podmienky pre všetky programy, napríklad do merania sa počítalo aj kliknutie za samotné otvorenie softvéru, pracovného prostredia, či kliknutia pri modelovaní a ukladaní modelov.

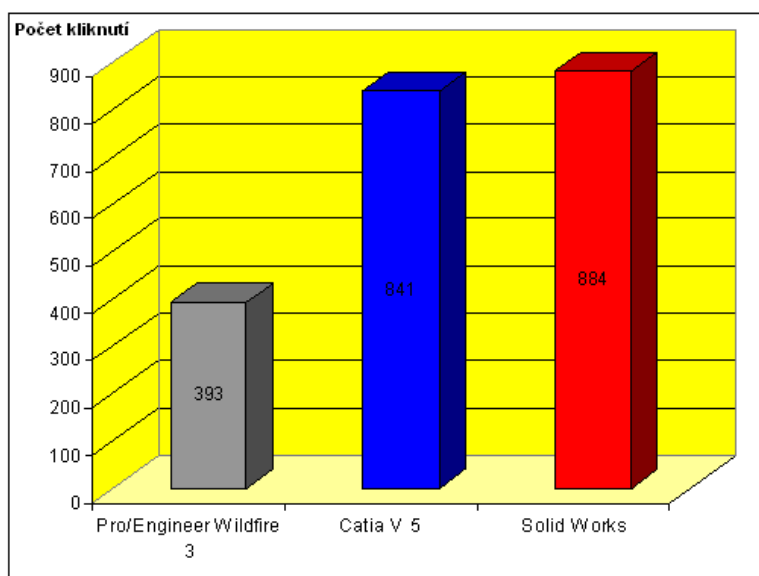
Tab. 1 Počet kliknutí pri modelovaní

POROVNÁVANÁ VELIČINA	PRO/ENGINEER WILDFIRE 3	CATIA V 5	SOLID WORKS
Počet kliknutí pri počiatkových nastaveniach	12	8	4
Počet kliknutí pri modelovaní prvého drôtu	21	57+ 7 Patternovanie	29
Počet kliknutí pri modelovaní druhého drôtu	10	36	29
Počet kliknutí pri modelovaní všetkých drôtov a duše prameňa	221	736	551
Počet kliknutí pri skladaní prameňa cez „Assembly“	125	*	275
Počet kliknutí pri skladaní celého lana dokopy bez duše	35	105	54
Celkový počet kliknutí pri modelovaní ocelového lana bez modelovania duše lana	393	841	884
Celkový počet kliknutí pri modelovaní duše lana	308	1171	558
Celkový počet kliknutí pri modelovaní ocelového lana	701	2012	1442

Vo všetkých programoch sa vychádzalo zo skutočnosti, že boli k dispozícii všetky matematické vyjadrenia a pri Solid Works aj hodnoty súradníc bodov „XYZ“ pre všetky komponenty prameňa.

Modelovanie v programe Catia V5 neprobíhalo rovnakým spôsobom, ako vo zvyšných programoch. V Pro/Engineer a Solid Works boli najprv vytvorené všetky komponenty prameňa lana. Následne sa prameň poskladal cez funkciu „Assembly“ a až potom nasledovalo „Patternovanie“ prameňa na potrebný počet prameňov v lane. V programe Catia V5 sa „patternoval“ každý jeden komponent prameňa ihneď po vymodelovaní do potrebného počtu a pri konečnom skladaní lana sa tak modelovali všetky pramene súčasne.

Modelovanie samotnej duše ocelového lana je veľmi zložitý a náročný proces z hľadiska počtu kliknutí a aj z časového hľadiska. Pri modelovaní duše je potrebné opätovne zadefinovať matematické vyjadrenia a znova vymodelovať všetky komponenty prameňa, ktoré sa musia „patternovať“. Následne sa tieto vymodelované diely odoberú pomocou rôznych funkcií programov (Remove, Sweep Cut) z vymodelovaného valca s priemerom duše, ktorý predstavuje budúcu dušu lana.

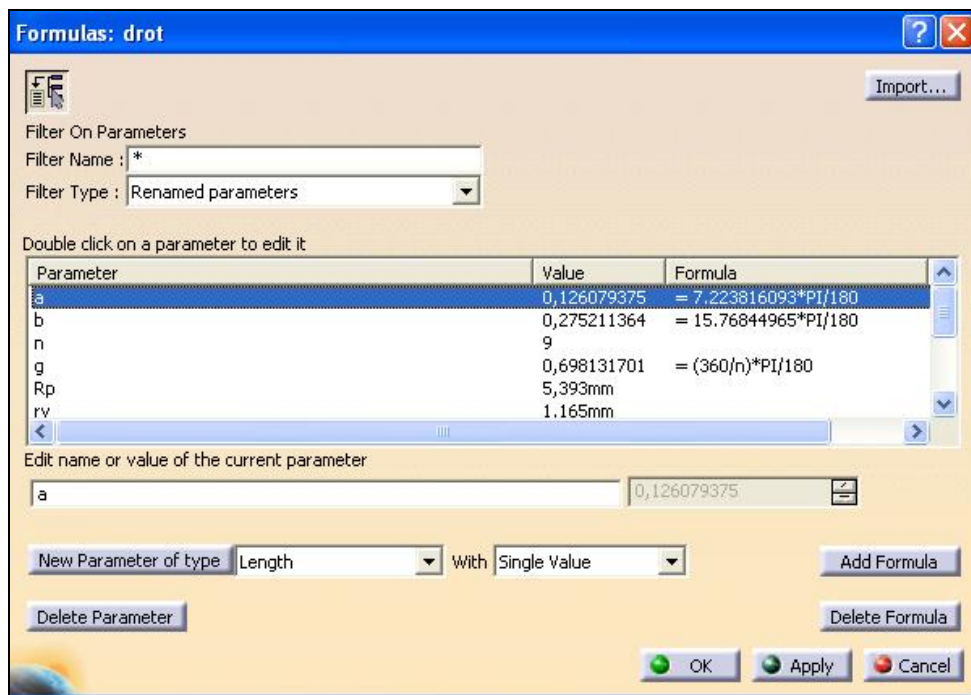


Obr. 3 Celkový počet kliknutí pri modelovaní ocelového lana bez duše

Z grafu na Obr. 3 vyplýva, že najmenší počet kliknutí pri modelovaní ocelového lana bez duše sa realizoval pri modelovaní v Pro/Engineer Wildfire 3, potom nasledovali Catia V5 a Solid Works.

V programoch Pro/Engineer a Catia modelovanie ostatných drôtov trvalo oveľa kratšie, ako modelovanie prvého drôtu z dôvodu, že všetky vzťahy na začiatku sú definované a upravené tak, že stačí meniť hodnotu parametra „i“ a všetky novovytvorené drôty budú pootočené vzhľadom k predchádzajúcemu drôtu. V prípade Solid Works je potrebné modelovať každý jeden drôt osobitne, čo predstavuje stále rovnaký počet kliknutí.

Pri vkladaní matematických vyjadrení bol nameraný najväčší počet kliknutí (Obr. 6) pri programe Catia V5 z dôvodu, že bolo potrebné nadefinovať každú jednu veličinu a každý jeden matematický vzťah v modeli (Obr. 4 a Obr. 5). Tieto operácie si nevyžadovali programy Pro/Engineer Wildfire 3 a ani Solid Works.

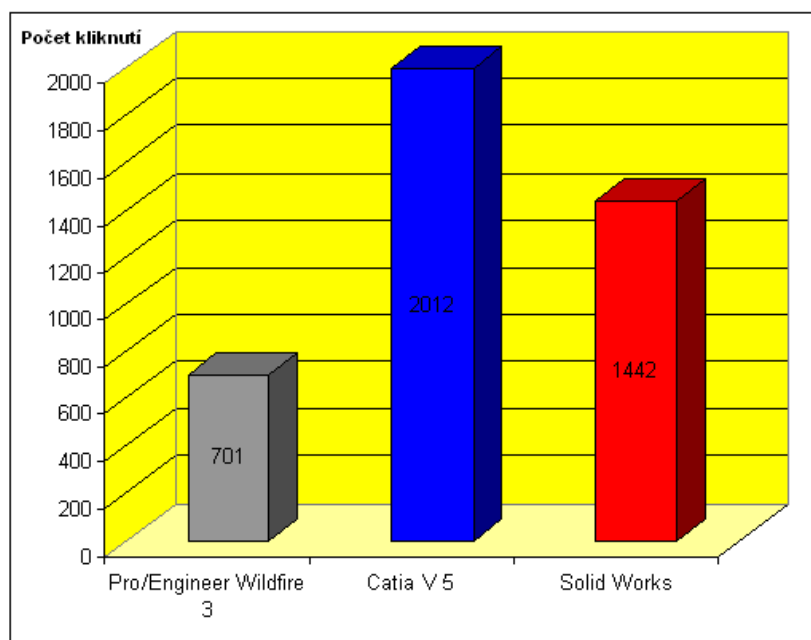


Obr. 4 Okno pre zadávanie parametrov a veličín



Obr. 5 Okno pre zadávanie matematických vzťahov

Po vymodelovaní kompletného ocelového lana bol najmenší počet kliknutí nameraný v programe Pro/Engineer Wildfire 3 najmä zásluhou jednoduchého modelovania. Nasledoval program Solid Works a najväčší počet kliknutí bol nameraný v programe Catia V5 hlavne z dôvodu náročnej práce s matematickými vyjadreniami.



Obr. 6 Celkový počet kliknutí pri modelovaní oceľového lana

3.1 Čas modelovania

Začiatkom merania bolo prvé kliknutie na ikonu daného programu a meranie ukončilo potvrdenie uloženia vymodelovaného oceľového lana.

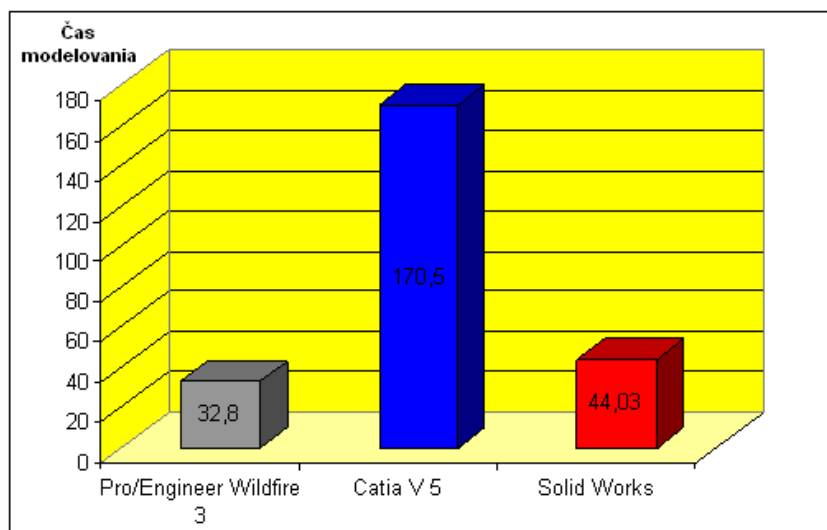
Rovnako aj pri meraní času modelovania v programoch sa vychádzalo zo skutočnosti, že boli k dispozícii všetky matematické vyjadrenia a pri Solid Works aj hodnoty súradníc bodov „X,Y,Z“ pre všetky komponenty prameňa.

Tab. 2 Časy modelovania

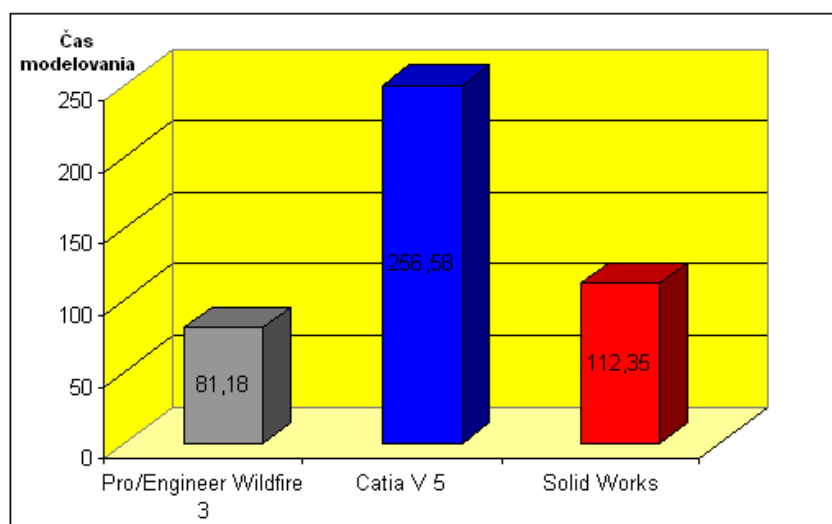
POROVNÁVANÁ VELIČINA	PRO/ENGINEER WILDFIRE 3	CATIA V 5	SOLID WORKS
Čas pre počiatočné nastavenia	32 sekúnd	33 sekúnd	5 sekúnd
Čas vymodelovania prvého drôtu	2 min 6 sek	16 min 50 sek	1 min 44 sek
Čas vymodelovania druhého drôtu	1 min 3 sek	7 min 39 sek	1 min 35 sek
Čas vymodelovania všetkých drôtov a duše prameňa	28 min 21 sek	166 min 19 sek	32 min 49 sek
Čas pre skladanie drôtov a duše prameňa dokopy cez „Assembly“	2 min 30 sek	*	9 min 36 sek
Čas skladania celého lana dokopy	1 min 26 sek	3 min 38 sek	1 min 32 sek
Celkový čas modelovania oceľového lana bez duše	32,8 min	170,5 min	44,03 min
Čas modelovania duše lana	48 min 23 sek	186 min 5 sek	68 min 19 sek
Celkový čas modelovania oceľového lana	81,18 min	256,58 min	112,35 min

Obr. 7 znázorňuje celkový čas modelovania oceľového lana bez duše v jednotlivých programoch v minútach. Najkratší čas modelovania bol nameraný v Pro/Engineer okrem iného aj zásluhou nízkeho počtu kliknutí a práce so vzorcami. Na druhom mieste je Solid Works hlavne z dôvodu potreby modelovania každého jedného drôtu osobitne. Najdlhší čas modelovania bol nameraný v programe Catia V5, kde sa model vytváral takmer 3 hodiny hlavne zásluhou zložitej práce s matematickými vyjadreniami.

Pri modelovaní kompletného oceľového lana s dušou sa rozdiely v čase modelovania prejavili oveľa výraznejšie (Obr. 8). Najkratší čas modelovania bol nameraný v Pro/Engineer Wildfire 3 hlavne zásluhou rýchleho modelovania komponentov lana. Druhé miesto v meraní dosiahol Solid Works a najdlhší čas modelovania bol nameraný v programe Catia V5 hlavne zásluhou náročnej a zdĺhavej práce s matematickými vyjadreniami.



Obr. 7 Celkový čas modelovania ocelového lana bez duše v minútach



Obr. 8 Celkový čas modelovania ocelového lana v minútach

3.2 Práca s matematickými vyjadreniami

Tab. 3 Porovnanie práce s matematickými vyjadreniami

POROVNÁVANÁ VELIČINA	PRO/ENGINEER WILDFIRE 3	CATIA V 5	SOLID WORKS
Počet vložených základných vzorcov do softvéru	3.	3.	19.
Počet otvorených okienok pri vkladaní vzorcov	4.	2.	4.
Náročnosť vkladania vzorcov do modelu	1.	3.	2.
Náročnosť vkladania veličín (α , β , k , i , s , rv) do tabuľky vzorcov	1.	3.	2.
Náročnosť výpočtov parametrov pre osi „x, y, z“	1.	2.	3.
Celková náročnosť práce so vzorcami v programe	1.	3.	2.
Celkový čas práce so vzorcami v programe	2 minúty	26 minút	8 minút
Celkový čas práce so vzorcami	2 minúty	26 minút	68 minút
Celková náročnosť práce so vzorcami	1.	2.	3.

Matematické vyjadrenia zohrávajú pri modelovaní oceľového lana veľmi dôležitú úlohu. Určujú uhol vinutia jednotlivých drôtov v prameni a tým aj uhol vinutia celého prameňa. To znamená, že skôr ako sa začne samotné modelovanie, je potrebné mať k dispozícii správne matematické vyjadrenia pre všetky komponenty.

V Tab. 3 je podrobné porovnanie programov pri práci s matematickými vyjadreniami. Pri určovaní náročnosti práce je výsledkom poradie programov 1. – 3., kde 1. miesto predstavuje najjednoduchšiu prácu a 3. miesto najnáročnejšiu.

Tab. 4 Hodnoty súradníc bodov „x, y, z“ pre prvý drôt vonkajšej vrstvy prameňa oceľového lana

Veličina	Hodnota
n	9
i	1
a	0,214150847
b	0,275071844
Rp	5,393
Rv	2
g	0,697777778
s	7,393
k	2,159114697
d	0
pi	3,141592654

Charakteristika
počet drôtov
poradie modelovaného drôtu
uhol alfa, uhol vinutia drôtu v prameni
uhol beta, uhol vinutia prameňa v lane
polomer prameňa
vzdialenosť medzi stredom prameňa a stredom drôtu
jedna n-tina z 360 stupňov, pre n drôtov
súčet polomerov
parameter pri skrutkovom pohybe
uhol pre nastavenie správneho natočenia vo vrstve
pi

stupne	radiány
0	0
20	0,34906585
40	0,698131701
60	1,047197551
80	1,396263402
100	1,745329252
120	2,094395102
140	2,443460953
160	2,792526803
180	3,141592654
200	3,490658504
220	3,839724354
240	4,188790205
260	4,537856055
280	4,886921906
300	5,235987756
320	5,585053606
340	5,934119457
360	6,283185307

x	y	z
7,393	0	0
6,906276374	1,057198931	7,04197064
5,511411666	2,019062583	13,88258909
3,395381679	2,796558143	20,4295635
0,841254438	3,313336695	26,74965131
-1,810448335	3,512127571	33,03250074
-4,208064398	3,36082884	39,4879298
-6,036346383	2,857691324	46,23228053
-7,058693516	2,034758973	53,2254035
-7,148286344	0,958629151	60,29240435
-6,303949733	-0,272305792	67,21837355
-4,648739318	-1,534654654	73,86478989
-2,411673070	-2,690860490	80,24454910
0,104635332	-3,603418002	86,51497901
2,565771377	-4,151143787	92,89262453
4,650846668	-4,245587838	99,53595836
6,095084773	-3,845316974	106,4595458
6,723902603	-2,965763628	113,5261558
6,474030151	-1,682668658	120,5210904

Najnáročnejšia práca s matematickými vyjadreniami bola v programe Solid Works z dôvodu, že bolo potrebné prepočítať všetky uhly v stupňoch na radiány pomocou programu „Excel“ a tieto zmeny bolo potrebné upraviť aj v samotných matematických vyjadreniach pre každý jeden drôt osobitne (Tab. 4). V programe Catia V5 bolo potrebné postupne vložiť všetky veličiny a ich parametre, prípadne ich matematické vzťahy tak pre drôty vnútornej ako aj vonkajšej vrstvy. Najjednoduchšia práca s matematickými vyjadreniami bola v programe Pro/Engineer Wildfire 3, kde stačilo len otvoriť matematické vyjadrenie a prekonvertovať ho do príslušného okienka.

3.3. Náročnosť programu, celkový dojem

V Tab. 5 je uvedené poradie programov podľa náročnosti. Pri určovaní náročnosti program umiestnený na prvom mieste predstavuje najjednoduchšiu prácu a program na treťom mieste najnáročnejšiu prácu so samotným programom. Pri určení celkového dojmu z programu je uvedené poradie programov, kde program na prvom mieste predstavuje „vítaza“.

Tab. 5 Náročnosť programov a celkový dojem

POROVNÁVANÁ VELIČINA	PRO/ENGINEER WILDFIRE 3	CATIA V 5	SOLID WORKS
Náročnosť pri počiatkových nastaveniach	3.	2.	1.
Náročnosť modelovania prvého drôtu, ak sú dané parametre pre osi XYZ	2.	3.	1.
Náročnosť modelovania prvého drôtu ak nie sú dané parametre pre osi XYZ	1.	2.	3.
Náročnosť modelovania ostatných drôtov, ak sú dané parametre pre osi XYZ	1.	3.	2.
Náročnosť modelovania ostatných drôtov, ak nie sú dané parametre pre osi XYZ	1.	2.	3.
Náročnosť skladania prameňa cez „Assembly“	1.	2.	3.
Náročnosť modelovania celého lana, ak sú dané parametre pre osi XYZ	2.	3.	1.
Náročnosť modelovania celého lana, ak nie sú dané parametre pre osi XYZ	1.	2.	3.
Náročnosť modelovania duše lana	1.	3.	2.
Prieľadnosť modelovania	2.	1.	2.
Prieľadnosť celého softvéru (prostredie, strom, nástrojové lišty)	2.	1.	3.
Celková náročnosť modelovania	1.	3.	2.
Náročnosť realizácie rýchlych zmien v modelovaní	3.	1.	2.
Celkový dojem a náročnosť, ak máme parametre pre osi XYZ	2.	3.	1.
Celkový dojem a náročnosť, ak nemáme parametre pre osi XYZ	1.	2.	3.

Náročnosť modelovania bola porovnávaná z dvoch hľadísk a to ak boli dané všetky parametre pre osi XYZ vo všetkých programoch a ak neboli dané parametre pre osi XYZ vo všetkých programoch a bolo ich potrebné vypočítať.

Pri určení konečného poradia programov pre modelovanie oceľového lana je potrebné brať do úvahy viaceré skutočnosti. Programy boli podrobne porovnané z hľadiska počtu kliknutí pri modelovaní, času modelovania, práce s matematickými vyjadreniami a celkovej náročnosti práce.

Konečné poradie programov sa mení v závislosti od toho, či sa berú do úvahy počiatkové transformácie vzorcov a výpočty parametrov pre osi XYZ v programe Solid Works. Ak sa tieto operácie neberú do samotného porovnávania, konečné poradie programov je nasledovné:

1. miesto - Solid Works
2. miesto - Pro/Engineer Wildfire 3
3. miesto - Catia V5

Pri určení konečného poradia programov pre modelovanie oceľového lana je však potrebné brať do úvahy celú prácu s programom, od úpravy matematických vyjadrení, cez vkladanie týchto vyjadrení do programov až po samotné modelovanie. Z tohto dôvodu je konečné poradie programov nasledovné:

1. miesto Pro/Engineer Wildfire 3
2. miesto Catia V5
3. miesto Solid Works

4. Záver

Proces modelovania ocelového lana je zložitý postup, ktorý sa líši vo všetkých programoch v závislosti od prepracovanosti daného programu. V niektorých programoch je 3D modelovanie ocelového lana nemožné, iné programy to zvládajú s veľmi vysokou kvalitou, ale samotný proces modelovania je u každého programu jedinečný.

Cieľom príspevku bolo nájsť vhodný program pre modelovanie ocelového lana. V prvom rade bolo potrebné zvládnuť a osvojiť si modelovanie v programoch Pro/Engineer Wildfire 3, Catia V5 a Solid Works, čo predstavuje zložitý a časovo náročný postup. Modelovanie prebiehalo vo všetkých programoch veľmi podobným spôsobom, avšak určité odlišnosti pri modelovaní z dôvodu niektorých nedostatkov programu bolo potrebné mnohokrát prerábať.

Po vymodelovaní ocelového lana v programoch Pro/Engineer Wildfire3, Catia V5 a Solid Works boli tieto programy podrobené detailnému porovnaniu. Programy sa porovnávali z hľadiska počtu kliknutí myšou pri modelovaní, času trvania modelovania, náročnosti práce s matematickými vyjadreniami, celkovej náročnosti modelovania a samozrejme aj celkového dojmu z programu a modelovania v ňom.

Po porovnaní programov bolo zistené, že sa nedá jednoznačne určiť program, ktorý je najvhodnejší pre modelovanie ocelového lana. Najvhodnejší program, ktorý predstavuje „vítaza“ porovnávaní sa totiž mení v závislosti od toho, či sa berie do úvahy čas, práca a náročnosť počiatočnej transformácie matematických vyjadrení a výpočty hodnôt súradníc bodov „x, y, z“ pri programe Solid Works. Ak sa tieto operácie neberú do porovnávaní, „vítazom“ je Solid Works najmä z dôvodu jeho jednoduchosti, prehľadnosti a času modelovania.

Pri objektívnom porovnaní a určovaní však treba brať do úvahy úplne celú prácu s programom, od otvorenia programu, cez vkladanie matematických vyjadrení až po dokončenie modelu ocelového lana. Pri takomto porovnaní je jednoznačným „vítazom“ Pro/Engineer Wildfire 3 najmä z dôvodu nenáročnosti modelovania, minimálnej práce s matematickými vyjadreniami a prehľadnosti samotného programu.

Tento článok je časťou riešeného grantového projektu č. 1/0095/10 - Výskum podmienok ovplyvňujúcich degradáciu a znižovanie životnosti konštrukčných častí hadicových dopravníkov s využitím progresívnych matematických a simulačných metód pre zvýšenie ich spoľahlivosti, grantového projektu č. 1/0864/10- Návrh modelu integrovaného dopravného systému nerastných surovín riadeného informačným systémom s implementáciou zelenej logistiky, grantového projektu č. 1/0453/10- Vybrané problémy mechanických sústav a grantového projektu VEGA 1/0400/09 Integrovaná analýza inteligentných lanových a tensegrity sústav s regulovateľným pôsobením.

Literatúra:

- [1] Molnár, V. a kolektiv: Ocelové laná, Vydala Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Košice, 2006, s. 200, ISBN 80-8073-629-4
- [2] Fedorko, G., Molnár, V., Madáč, K.: Základy aplikácie Pro/Engineer v technickej konštrukcii, Vydavateľstvo Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Košice, 2008, s. 87, ISBN 978-80-8073-972-0
- [3] Fedorko, G., Molnár, V.: Catia základy projektovania, Vydavateľstvo Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Košice, 2006, s. 105, ISBN 80-8073-648-0
- [4] Stanová E., Molnár V.: The Steel Rope and the Possibilities of its Mathematical Modeling, , Transactions of the Universities of Košice, ISSN 1335-2334, 3/2003/2004, pp 10-14.
- [5] Ivančo, V. - Kubín, K.: Simulácia dynamickej odozvy konštrukcií s nosnými lanami/Dynamic response simulation of structures with load-bearing ropes. In: Doprava a logistika. č. 14 (2008), s. 14-22. ISSN 1451-107X.
- [6] Fabian, M. - Spišák, E.: Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií. 1. vyd. Brno: CCB, 2009. 398 p. ISBN 978-80-85825-65-7.
- [7] Tittel, V.: Technológia ťahania drôtu. 1. vyd. Trnava: AlumniPress, 2009. 83 s. E-monografia. Dostupné na internete: <<http://www.mf.stuba.sk>> ISBN 978-80-8096-087-2.

Recenzia/Review: doc. Ing. Vierošlav Molnár, PhD.