



SIEMENS

Ingenuity for life

Siemens Digital Industries Software

Simcenter STAR-CCM+

Analýza hydrauliky složitých čerpadel ve společnosti MSI

Stručný souhrn

Společnost Mechanical Solutions Inc. (MSI) úspěšně začlenila software Simcenter STAR-CCM+® do svého řetězce procesů jako návrhářský nástroj a nástroj pro řešení problémů. Pokročilý a přesný nástroj pro výpočet toků v softwaru Simcenter STAR-CCM+ poskytuje společnosti MSI přímocárý a nákladově efektivní postup při řešení složitých problémů u hydraulických turbín.

O autorech

Obsah tohoto technického dokumentu poskytli Edward Bennett a Artem Ivashchenko ze společnosti MSI.

Obsah

Úvod	3
Simulace vodních čerpadel pomocí softwaru Simcenter STAR-CCM+.....	4
Analýza čerpadla s dvojitým sáním	5
Simulace vertikálního protipovodňového čerpadla	7
Simulace vícestupňového čerpadla	9
Závěr	10

Úvod

Konstrukteři turbín používají při virtuálním prototypování, optimalizaci a řešení problémů pokročilé metodologie návrhů, nástroje počítačem podporovaného návrhářství/inženýrství (CAD/CAE) a software výroby s asistencí počítače (CAM). Tyto simulační nástroje konstruktérům umožňují přesně předpovědět výkon stroje již v raných fázích vývojového cyklu, analyzovat množství návrhů, omezit závislost na spoustě fyzických prototypů a drahém testování, optimalizovat návrh pro maximální výkon a dosáhnout úspory času a nákladů.

Společnost Mechanical Solutions Inc. (MSI) se sídlem ve Whippany (New Jersey) se specializuje na návrh hydraulických strojů, analýzu dynamiky kapalin a strojní konstrukci a její analýzu. V oblasti energetiky se společnost MSI soustředí na analýzy, testování a řešení problémů u všech typů rotačních a pístových strojů a turbín, k čemuž využívá sofistikované nástroje pro analýzu a testování. Tento technický dokument popisuje, jak software Simcenter STAR-CCM+, špičkový balíček simulačních nástrojů od společnosti Siemens Digital Industries Software, umožňuje společnosti MSI poradit si s výzvami spojenými s návrhem a konstruovat výkonnější čerpadla v kratším časovém horizontu. O zkušenosti svého týmu se softwarem Simcenter STAR-CCM+ se podělil Dr. Ed Bennett ze společnosti MSI, který řekl, že „nástroj Simcenter STAR-CCM+ disponuje všemi nezbytnými funkcemi pro analýzu i těch nejkompexnějších toků u hydraulických turbín“.

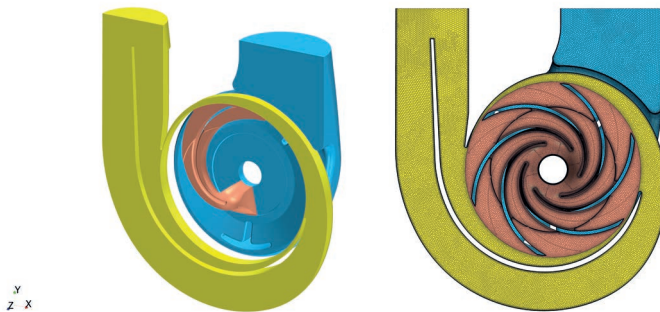
Simulace vodních čerpadel pomocí softwaru Simcenter STAR-CCM+

Vodní čerpadla se velmi často používají nejen v elektrárnách na fosilní paliva, ale také v jaderných a vodních elektrárnách, chemických, systémech chlazení motoru automobilů a při zpracování ropy, plynu či odpadů. Mezi hlavní výzvy u návrhu vodních čerpadel patří nestálost toků, kavitace a rotační části stroje. Software Simcenter STAR-CCM+ nabízí funkce, které lze při řešení těchto výzev využít, a také přímočarý a spolehlivý numerický proces návrhu. Software Simcenter STAR-CCM+ umožňuje vytvářet efektivní pracovní postupy pro generování geometrie, síťování, řešení problémů, postprocessing a optimalizaci.

Funkce pro výpočet nestálosti toků, vytváření modelů nestálé kavitace, analýzu pohybu nedeformovatelného tělesa pro rotační domény nebo automatizované nestrukturované síťování pro složitou geometrii a paralelní zpracování umožňují projít si během chvilky několik návrhů vodních čerpadel. Software Simcenter STAR-CCM+ umožňuje konstruktérům snadno předvídat výkon čerpadla jak po stránce návrhu, tak mimo ni a lze se díky němu vyhnout kavitaci nebo erozi.

Analýza čerpadla s dvojitým sáním

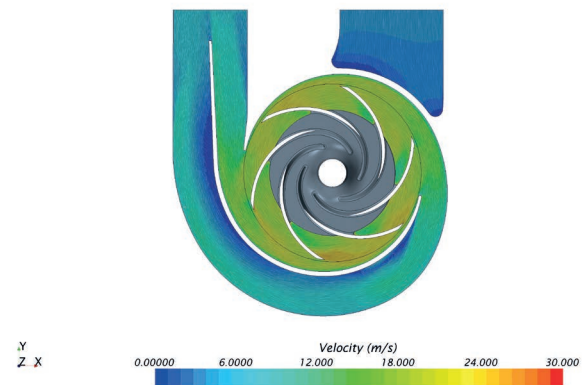
Zákazník požádal společnost MSI, aby analyzovala návrh čerpadla s dvojitým sáním a ověřila, zda dokáže splnit výkonové požadavky. Návrh čerpadla byl zkonstruován na bázi odstředivosti pro lepší kavitační výkonnost. Na horní straně čerpadla byla vstupní část s rozdělovačem umístěným uprostřed za účelem zmírnění radiálního zatížení a čerpadlo mělo také identické rotory na každé straně voluty. Tok kapaliny, který vstupoval do čerpadla, byl rovnoměrně rozdělen mezi dva rotory. Společnost MSI použila software Simcenter STAR-CCM+, aby mohla simulovat fyzikální vlastnosti čerpadla včetně 360° dynamického toku vody, rotační geometrie a nestálé kavitace. Dráha toku byla rozdělena napůl, aby bylo při simulaci dosaženo symetrie, a také byla vymodelována vstupní část, rotor a voluta. K diskretizaci domény toku byla použita funkce softwaru Simcenter STAR-CCM+ pro automatizované mnohostěnné síťování. Bylo vytvořeno síťování prostoru jedné lopatky, které bylo následně cyklicky rozmístěno a pospojováno, čímž vzniklo kompletní síťování rotoru a byla zajištěna také jednotnost síťování. Jednotlivé buňky síťování byly vytvořeny automaticky na površích, čímž byla vytvořena mezní vrstva, a finální podoba síťování obsahovala kolem pěti milionů buněk. Na obrázku 1 je zobrazena geometrie a síťování dráhy toku.



Obrázek 1: Geometrie dráhy toku čerpadla (vlevo) a počítačové síťování v softwaru Simcenter STAR-CCM+ (vpravo) podél středové roviny.

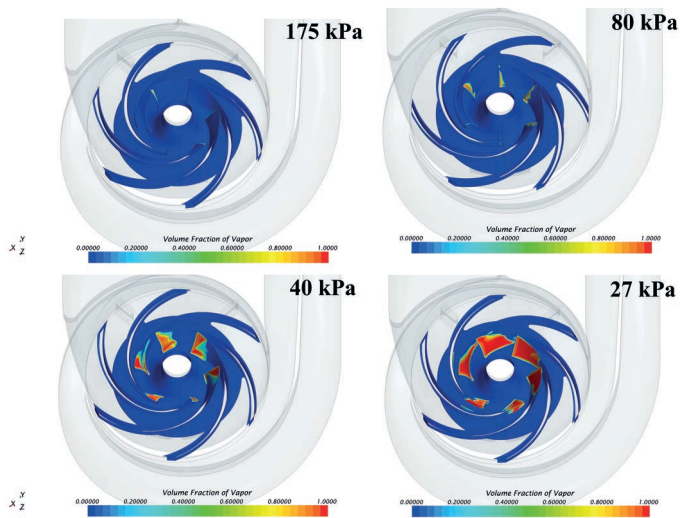
Byl použit nástroj pro výpočet toků softwaru Simcenter STAR-CCM+ spolu se schématem proudění tepla druhého stupně a model turbulence pro přenášení smykového napětí (SST). Také byl použit vícefázový model objemu kapalin (VOF), aby bylo možné zachytit rozhraní mezi vodou a vodní párou. Pro simulaci kavitace byl vybrán Rayleigh-Plessetův model. Proběhlo určení

tlakových podmínek u vstupní části pomocí referenčního bodu a také byla určena velikost toku jak ve vstupní části, tak u výpusti. Rotor byl obklopen rozhraním, které jej uzavřelo, a jeho rychlost byla pomocí RBM upravena tak, aby odpovídala rychlosti skutečného rotoru. K simulaci jednoho otočení rotoru byla vybrána nestálá doba kroku a také celkový čas, přičemž nakonec bylo použito 20 iterací za jednu dobu kroku. Simulace běžela po několik kompletních otáček až do doby, než došlo ke stabilizaci senzorů reziduálního proudu a než různé senzory tlaku, otáček a velikost toku vykazovaly cyklické chování.



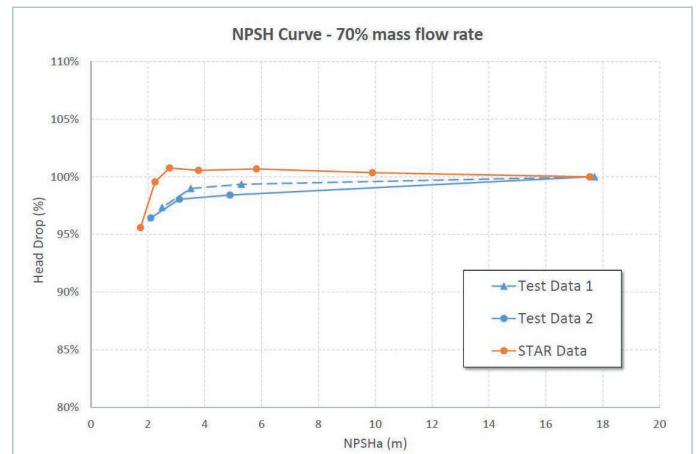
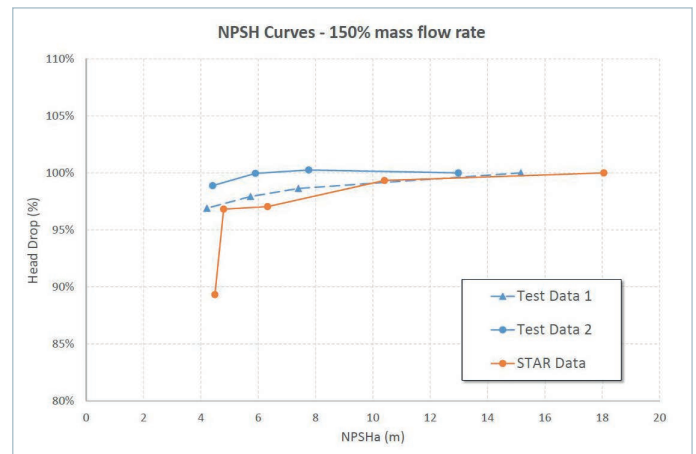
Obrázek 2: Kontury rychlosti jsou zobrazeny jako konvoluce křivkového integrálu ve středové rovině.

Kontury rychlosti (obrázek 2) ukázaly, že dochází ke stacionárnímu průtoku u rotoru, u voluty tekutina proudí tak, jak má, a u rozdělovače dochází k recirkulaci. K recirkulaci dochází v určité míře také blízko vstupní části a voluty, a to kvůli omezené axiální velikosti čerpadla. Nerovnoměrnost toku byla označena jako nežádoucí, provést změny však nebylo možné, jelikož nešlo vzhledem k nedostatku axiálního prostoru tok upravit. Na obrázku 3 najdete kontury frakce páry na rotoru, přičemž modré oblasti znázorňují vodu a červené vodní páru. Je vidět, že při vysokém vstupním tlaku (175 kilopascalů) dochází k minimální kavitaci a s tím, jak se vstupní tlak snižuje, se zvyšuje také kavitace na rotoru.

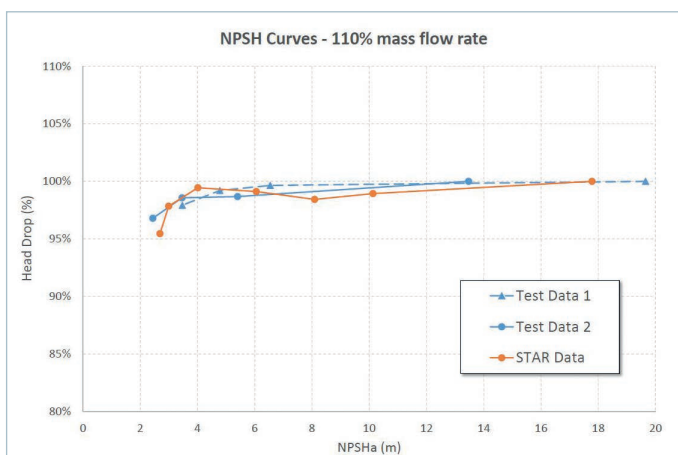


Obrázek 3: Kontury frakce páry na rotoru vykazující kavitaci při různých hodnotách vstupního tlaku.

Na obrázku 4 najdete srovnání čisté pozitivní sací výšky (NPSH) měřené výrobcem v testovacím zařízení a hodnot naměřených softwarem Simcenter STAR-CCM+ při rozdílných velikostech toku. Softwaru Simcenter STAR-CCM+ se podařilo přesně zachytit výkon čerpadla při nižších hodnotách NPSH a nízkém tlaku ve vstupní části a tyto výsledky odpovídají experimentálním datům. Společnost MSI pomocí softwaru Simcenter STAR-CCM+ numericky vytvořila křivku výkonu čerpadla při 70%, 110% a 150% velikosti toku. Na základě výstupu ze simulací softwaru Simcenter STAR-CCM+ mohl zákazník učinit informovaná rozhodnutí ohledně návrhu, certifikace a kavitační výkonnosti čerpadla.



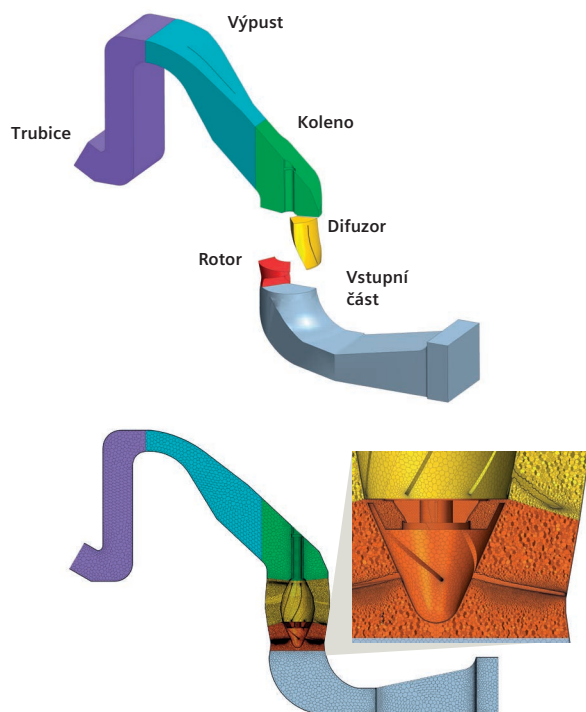
Obrázek 4: Srovnání křivek kavitace u softwaru Simcenter STAR-CCM+ a testovacích dat NPSH u tří různých velikostí proudu.



Simulace vertikálního protipovodňového čerpadla

Společnost MSI dostala za úkol analyzovat návrh velkého axiálního čerpadla pro New Orleans ohledně rezonance a problémů s vibracemi jako následek nestálé a vynucené reakce, kterou lze v nepříznivém počasí očekávat. Tato nová vertikální protipovodňová čerpadla měla zajistit dostatečný výkon a při povodních odčerpat přebytečnou vodu z města.

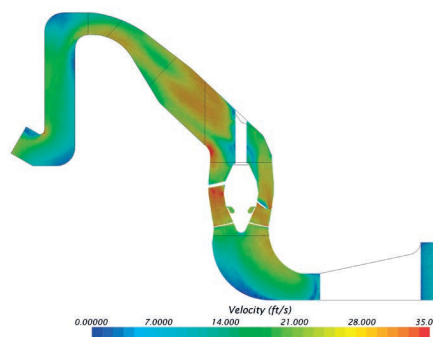
Čerpadlo mělo velkou vstupní část, rotor o průměru více než jeden metr, lopatkový difuzor, vnitřní hřídel, lopatku u výpusti a výstupní trubici. Složitá geometrie čerpadla byla importována do softwaru Simcenter STAR-CCM+ a byla diskretizována pomocí funkce pro automatizované mnohostěnné síťování a funkce pro vytváření buněk síťování. Konečná podoba počítačového síťování měla čtyři miliony jednotlivých buněk a přesně zachytila komplexní geometrii čerpadla s mnoha kanály a cestami toku. Na obrázku 5 je zobrazena komplexní geometrie a počítačové síťování dráhy toku.



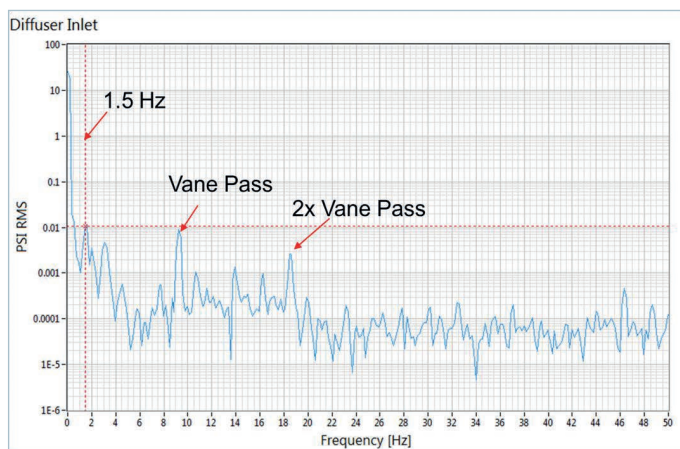
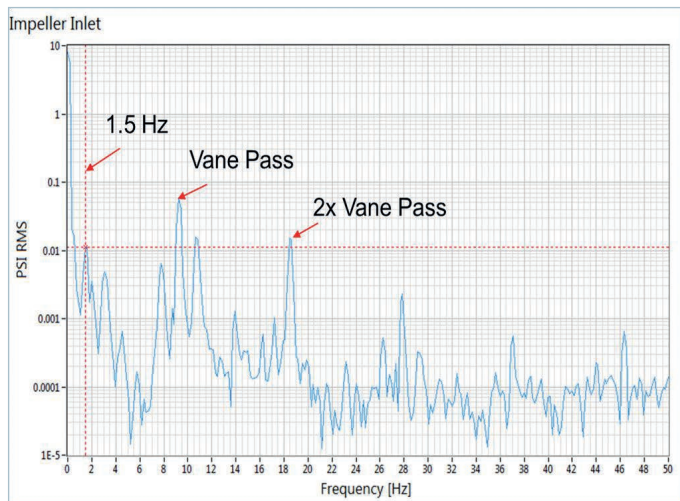
Obrázek 5: Geometrie vertikálního čerpadla (vlevo) a počítačové síťování podél středové roviny (vpravo).

Byl použit nástroj pro výpočet toků softwaru Simcenter STAR-CCM+ spolu se schématem proudění tepla druhého stupně a model turbulence k-epsilon. Jako základní kapalina, se kterou se bude pracovat, byla vybrána voda, která měla standardní teplotu a tlak. Byla specifikována okrajová podmínka ohledně velikosti proudu ve vstupní části a byly určeny také hodnoty statického tlaku u výpusti a rychlost otáčení domény rotoru. Provedena byla také dynamická simulace, během níž bylo provedeno jedno otočení rotoru s 20 vnitřními iteracemi za jednu dobu kroku. Simulace běžela po několik kompletních otáček až do doby, než došlo ke stabilizaci senzorů reziduálního proudu a než různé senzory tlaku, otáček a velikost toku vykazovaly cyklické chování.

Na obrázku 6 můžete vidět kontury rychlosti ve středové rovině čerpadla. Je na něm zachycen vírový tok v oblasti výpusti, který vytváří hřídel. Společnost MSI si ověřila, že se na software Simcenter STAR-CCM+ může skutečně spolehnout, a údaje o místech, na která je vyvíjen velký tlak, byly použity v rámci frekvenční analýzy pomocí softwaru LabVIEW od společnosti National Instruments a nebylo tak nutné zkoumat experimentální hodnoty. Tlak vyvíjený na každé rozhraní domény byl zpracován ve frekvenční doméně v softwaru LabVIEW pomocí rychlé Fourierovy transformace pro spektrální analýzu. Díky této analýze bylo možné zachytit nejen frekvence kmitání dráhy toku, ale také frekvenci otáčení lopatek, frekvenci rotoru a také údaje o dvojnásobné frekvenci otáčení lopatek (obrázek 7). Zachycené frekvence byly analyzovány v softwaru pro modální analýzu a v návrhu čerpadla nebyly nalezeny žádné problémy týkající se vibrací nebo rezonance.



Obrázek 6: Kontury rychlosti zobrazené jako konvoluce křivkového integrálu.

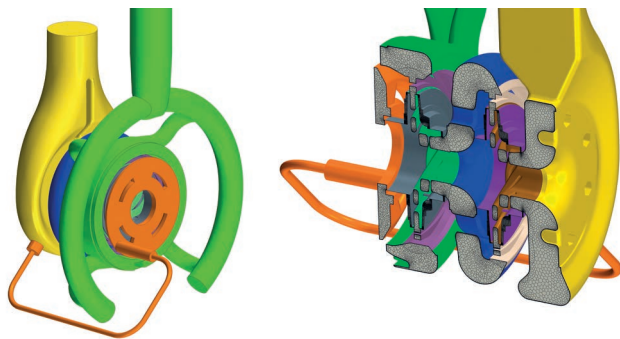


Obrázek 7: Relevantní frekvence rotoru ze softwaru Simcenter STAR-CCM+ ve vstupní části rotoru a difuzoru.

Simulace vícestupňového čerpadla

Společnost MSI provedla pro zákazníka simulaci u vícestupňového čerpadla za účelem provedení analýzy výkonu návrhu čerpadla s neobvyklou výpustí. Odstředivé vícestupňové čerpadlo bylo navrženo tak, aby bylo možné vodu odčerpávat do značné výšky. Kromě složitých dynamických toků vody, rotačních částí a nestálých a vynucených reakcí obsahoval návrh čerpadla také komplexní sekundární toky, kvůli nimž bylo nezbytně nutné, aby nástroj pro simulaci všechny tyto jevy zohlednil. Simulace zahrnovala tok, který ze vstupní části putoval dvěma stupni čerpadla s dvěma rotory za sebou a následně byl vypuštěn skrze volutu. Zařízení pro vyrovnávání toku směřovalo část toku vycházejícího z čerpadla zpět do vstupní části. Čerpadlo mělo složitou primární a sekundární dráhu toku a bylo navrženo tak, aby bylo dosaženo lepší kavitace a hydraulického výkonu.

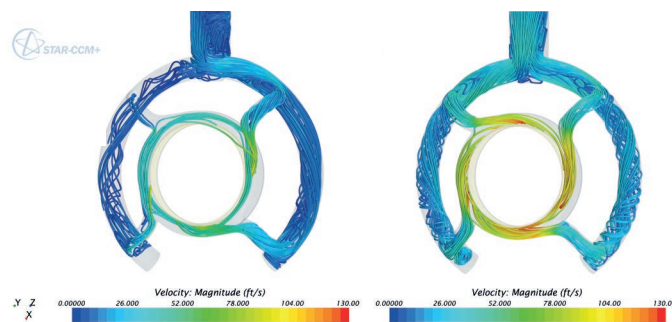
Doména toku vícestupňového čerpadla zahrnovala vstupní část, výpusť, primární a sekundární dráhu toku a rozhraní spojující stacionární a rotační části. Na obrázku 8 je zobrazena geometrie a počítačové síťování čerpadla. Celkem osm primárních a sekundárních rozhraní v simulaci spojilo stacionární a rotující části. Kromě analýzy toku v trubkách propojujících vstupní část a výpusť byl software Simcenter STAR-CCM+ využit k vyřešení toku kolem rotoru a v dutých částech před krytem každého prvku a za ním.



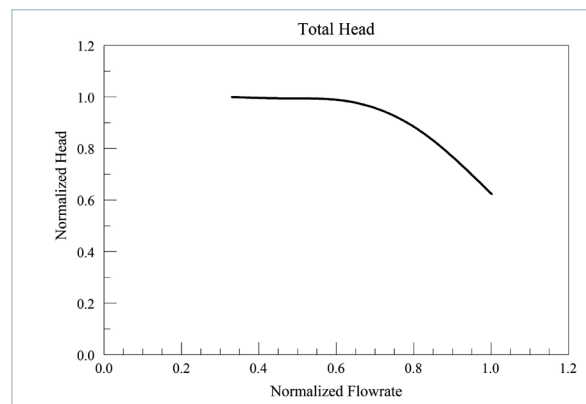
Obrázek 8: Geometrie (vlevo) a počítačové síťování (vpravo) čerpadla v softwaru Simcenter STAR-CCM+.

Obrázek 9 ukazuje srovnání toků při nízkém a vysokém proudění tekutiny čerpadlem. Při nízkém toku vykazuje levá strana voluty odlišné charakteristiky toku ve srovnání s pravou stranou, kde je tok tlumený, zatímco na levé straně je asymetrický. Při

vysokém toku je tok vířivý, ale na obou stranách rovnoměrnější. Na obrázku 10 můžete vidět celkovou výšku, do které voda vystoupá při různých tocích. Jak si zákazník sám všiml, dochází k vyrovnání změn spolu s tím, jak se velikost průtoku snižuje. Ze simulací Simcenter STAR-CCM+ byl jako příčina zhoršení výkonu při nízkých rychlostech toku identifikován nejednotný tok. Tuto analýzu a pozorování zákazník využil při nových návrzích čerpadla a při dosažení požadované výšky i při nízkém toku.



Obrázek 9: Toky ve výpusť čerpadla, které jsou zbarvené podle rychlosti 359 (vlevo) a 1110 galonů (vpravo) za minutu.



Obrázek 10: Porovnání průtoků (v galonech za minutu) oproti výšce v softwaru Simcenter STAR-CCM+.

Závěr

Společnost MSI úspěšně začlenila software Simcenter STAR-CCM+ do svého řetězce procesů jako návrhářský nástroj a nástroj pro řešení problémů a dosáhla s ním patřičných výsledků. Pokročilý a přesný nástroj pro výpočet toků v řešení Simcenter STAR-CCM+ umožňuje společnosti MSI přímočarý a nákladově efektivní postup při řešení extrémně složitých problémů u hydraulických strojů a turbín. Případové studie popisují výhody použití numerické simulace softwaru Simcenter STAR-CCM+ při

návrhu a analýze turbín v průmyslovém prostředí. Používání softwaru Simcenter STAR-CCM+ ve společnosti MSI s sebou přineslo při konstrukci turbín mnoho výhod, a to včetně těchto:

- Zisk nových zakázek
- Uspokojení stávajících zákazníků
- Rychlejší navrhování výkonnějších čerpadel
- Zisk lepšího přehledu v porovnání s fyzickými testy

Siemens Digital Industries Software

Sídlo

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

Amerika

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

Evropa

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

Asie a Tichomoří

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
+852 2230 3333

O společnosti Siemens Digital Industries Software

Společnost Siemens Digital Industries Software podporuje digitalizaci spojující vývoj a výrobu elektroniky. Naše řešení pomáhají podnikům všech velikostí využívat digitální dvojčata, získávat nové obchodní příležitosti a zavádět špičkové inovace. Další informace o produktech a službách společnosti Siemens Digital Industries Software naleznete na stránce [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software) nebo na sítích [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) a [Instagram](#). Siemens Digital Industries Software – Kde se dnešek setkává se zítřkem.

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2017 Siemens. Seznam ochranných známek společnosti Siemens je k dispozici [zde](#). Ostatní ochranné známky náleží jejich příslušným vlastníkům.
66944-83139-C6-CS 12/20 LOC