

Zariadenia pod drobnohľadom

Vo výrobných závodoch, ktoré sú v prevádzke nepretržite sedem dní v týždni, vedú neplánované odstávky takmer vždy k citelným finančným stratám. To, že primeraná údržba má veľký vplyv na objem výroby, ale aj na jej kvalitu, ani netreba zdôrazňovať. O to dôležitejšie je mať stanovenú jasnú stratégiu údržby na zabezpečenie spoľahlivej výroby. Kľúčom k lepšiemu plánovaniu údržby je znalosť technického stavu všetkých prevádzkových prostriedkov a odhadovaného času výpadku. V komplexných systémoch sa tieto informácie nezískavajú ľahko. Existujú rôzne spôsoby monitorovania stavov systémov a odhadu zostávajúcej životnosti. Ešte donedávna však na trhu chýbalo kompletné riešenie, ktoré by bolo použiteľné pre ľubovoľný typ výrobného prostriedku a zároveň by bolo na báze softvérovej platformy. Takýto systém sa podarilo vytvoriť v úzkej spolupráci s odborníkmi spoločnosti ABB a valcovňou Outokumpu vo švédskom meste Avesta. Systém poskytuje potrebné informácie o opotrebovaní prevádzkových zariadení a je schopný predpovedať zostávajúcu životnosť kľúčových prvkov, ako sú napr. ložiská na výrobných linkách, čím výrazne prispieva k zdokonaleniu plánovania údržby. Správne organizovaná údržba je pre rast výnosov nevyhnutná.

Dlhé roky prebieha optimalizácia a ladenie riadiacich a automatizačných systémov výroby, vďaka čomu v tejto oblasti prakticky už nie je čo zlepšovať. OEE (Overall Equipment Effectiveness – v priemysle uznávaný nástroj na meranie a monitorovanie výkonnosti výroby) sa rýchlo stalo kľúčovým elementom pre väčšinu výrobných závodov. Vzhľadom na to, že neplánované odstávky sú spojené v každom závode s nezanedbateľnými finančnými stratami, významnú úlohu zohráva optimalizácia výrobných prostriedkov a plánovanie údržby.

Údržba založená na báze technického stavu zariadenia je automatický proces, ktorý by mal byť schopný rozpoznať neodvratné poruchy skôr,

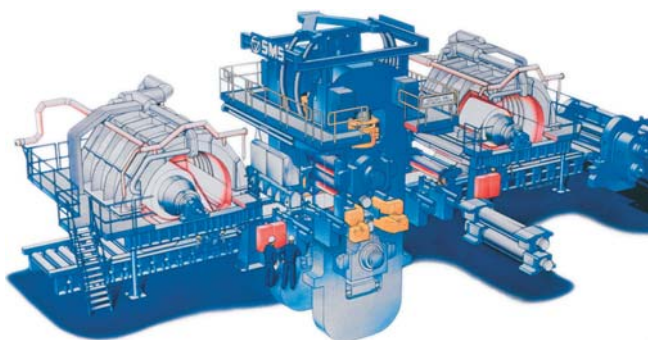
než sa situácia stane kritickou. Tým je umožnené precízne plánovanie preventívnej údržby. V súčasnosti sú k dispozícii rôzne systémy monitorovania technického stavu, z ktorých sú niektoré založené na báze štatistického vyhodnocovania predchádzajúcich výpadkov a iné na fyzikálnom modelovaní (First Principle Modeling).

Pre valcovňu Outokumpu (medzinárodný podnik na spracovanie ušľachtilej ocele so sídlom vo fínskom Espoo) však nebolo ani jedno riešenie dostatočne vyhovujúce. Podnik hľadal kompletné riešenie online monitorovania, ktoré by bolo použiteľné pre všetky prevádzkové prostriedky výrobného závodu a poskytovalo by informácie o ich stave, kumulovanom opotrebovaní a zostávajúcej životnosti. Okrem toho mal systém umožňovať optimálne plánovanie údržby, aby sa dalo včas zabrániť drahým nečakaným odstávkam alebo opatreniam v údržbe, ktoré by neboli nutné. Fínsky podnik spolu s ABB vyvinuli spoločne systém, ktorý nielenže spĺňa všetky tieto požiadavky, ale dokonca ho možno nasadiť na akomkoľvek druhu priemyselného zariadenia.

Výsledné riešenie je z väčšej časti založené na systéme Industrial Extended Automation System 800xA od ABB. Ide o automatizačnú platformu, ktorá vytvára previazanie medzi centrálnym riadiacim systémom procesu a ostatnými prvkami a komponentmi. Zahŕňa sa sem inžiniering, dokumentácia, riadenie kvality, bezpečnosť, inteligentné prevádzkové prístroje, optimalizácia prevádzkových prostriedkov a riadenie údržby. Platforma umožňuje bezproblémovú integráciu riešení ABB a iných výrobcov, ako sú napr. počítačové systémy riadenia údržby (CMMS). Platforma 800xA poskytuje základné funkcie pre efektívny vývoj a integráciu riešení automatického monitorovania vo forme doplnku k tradičným postupom.

Prehľad v systéme

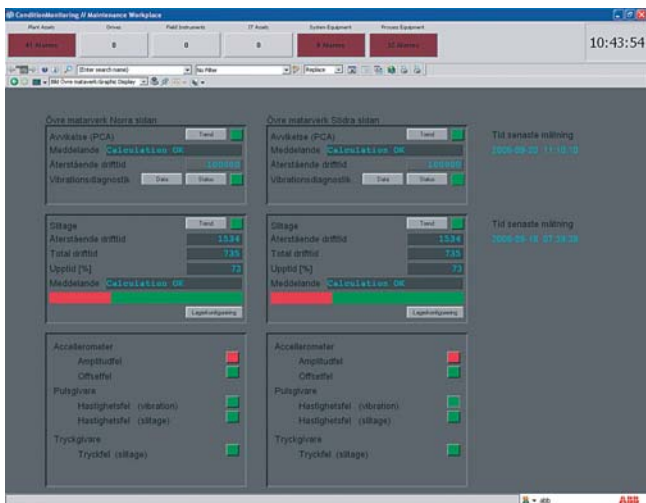
Celkové riešenie sa skladá zo škály aplikácií, a to z 800xA SV 3.1, 800xA Asset Optimization (vrátane Asset Monitore), Inform^{IT}, Wear Aspect System, Condition Severity Aspect System, DriveMonitor na diagnostiku ložísk, Argus CC4 na zber dát, Argus OPC Server a PCS Model Builder Tool. Popri známych softvérových nástrojoch ABB balík zahŕňal aj novovyvinuté nástroje, s ktorými možno určovať opotrebovanie a životnosť zariadení. Vďaka tomu majú v závode k dispozícii nasledujúce funkcie: výpočet kumulovaného opotrebovania ložísk, rozpoznávanie poškodenia ložísk, odhad zostávajúcej životnosti, detekcia anomálií v bežnom správaní, senzorová diagnostika a upovedomovanie prostredníctvom SMS alebo e-mailu. Na obr. 2 je znázornená obrazovka typického náhľadu stavov jedného zariadenia. Všetky diagnostické



Obr.1 Vizualizácia valcovne v Outokumpu



hlásenia sú zobrazené na zeleno (OK), žltó (varovanie) alebo červeno (alarm). Zostávajúca životnosť zariadenia sa udáva v počte prevádzkových hodín. Pri výskyte problému možno sledovať a analyzovať dáta na rôznych nižších úrovniach. Osobitnou vlastnosťou systému je výpočet kumulovaného opotrebovania. To platí obzvlášť pre diely (napr. hnacie valce), ktoré sa z istých dôvodov odstránia a nasadia na inom mieste. Obsluha pritom prostredníctvom Wear Aspect System manuálne aktivuje pre každý prevádzkový prostriedok funkciu na uloženie identifikačného čísla ID. Pokiaľ sa nejaké staršie zariadenie nainštaluje na novom mieste, dovtedajšie opotrebovanie sa jednoducho vyvolá a výpočet opotrebovania môže pokračovať.



Obr.2 Náhľad stavov hornej hnacej kladky so simulovaným rozpoznávaním ložiskových poškodení a anomálií, výpočtom opotrebovania a senzorovým monitorovaním

Dôležité je pochopiť, ako sa určuje životnosť zariadenia. Dá sa to zrealizovať rôznymi spôsobmi, rozhodujúcim faktorom je však definícia výpadku. Je to okamih, v ktorom sa zariadenie zväčša v dôsledku hluku, vibrácií alebo zníženého výkonu vymieňa. Nastáva pred samotným mechanickým zlyhaním zariadenia.

Na výpočet zostatkovej životnosti treba poznať vzťah opotrebovania a doby prevádzky. Na odhad zvyškovej životnosti ložiska s istým zaťažením sa používa osvedčená metóda L10 od spoločnosti SKF. Najnáročnejšie je pritom zohľadniť kolísanie v zaťažení a vo frekvencii otáčania a integrovanie celkového opotrebovania v čase.



Obr.3 Náhľad na konfiguráciu ložísk a výber ID

Najskôr sa vykonáva kontinuálny zber dát zaťaženia a frekvencie otáčania zo systému zberu dát Argus (vyvinutý divíziou ABB Service). Tieto dáta sa následne sprostredkujú v podobe OPC hodnôt systému 800xA. Zostatková životnosť vypočítaná z kumulovanej hodnoty dáva hrubý orientačný ukazovateľ denného opotrebovania zariadenia. Absolútna hodnota opotrebovania ložísk však závisí od rôznych parametrov prostredia, ako je osadenie, ložiskové prúdy, praskliny a nepresnosti.

Z praktických dôvodov sa výpočet opotrebovania ložísk rozdelil na štyri časti: historický, starý, nový a prognóza. Historický interval zodpovedá časovému úseku od začiatku zaznamenávania dát a týka sa predovšetkým starých ložísk, ktoré boli v prevádzke dávno pred inštaláciou systému. Pokiaľ sa nainštaluje nové ložisko počas aktívneho zaznamenávania dát, je historická hodnota nastavená na nulu. Interval s označením starý sa začína záznamom a končí sa pri predposlednej šarži. „Nový“ interval pokrýva poslednú šaržu a prognóza sa používa na výpočet opotrebovania v budúcnosti na základe kľzavého priemeru aktuálnych opotrebovaní.



Historické opotrebovanie

Ak sa implementuje systém zberu dát do výpočtu opotrebovania, je veľmi pravdepodobné, že v prevádzke je už niekoľko mesiacov väčší počet ložísk. To treba zohľadniť pri samotných výpočtoch. V systéme nainštalovanom v závode Outokumpu je doba prevádzky od začiatku zaznamenávania reprezentovaná parametrom T_0 . Historické a budúce opotrebovanie sa potom odhaduje pomocou priemerných hodnôt „starého“ intervalu. Týmto spôsobom sa to realizuje preto, lebo opotrebovanie sa môže medzi jednotlivými šaržami značne líšiť a treba ho odhadnúť realisticky. Používané priemerné hodnoty sú nasledujúce: celkový prevádzkový čas, opotrebovanie na jednu otáčku, otáčky počas prevádzky. Keďže zber dát sa uskutočňuje v „starom“ intervale, priemerné hodnoty sa kontinuálne online aktualizujú a po niekoľkých týždňoch prebehne aproximácia. Celkové kumulované opotrebovanie zodpovedá súčtu jednotlivých intervalov. Pomocou konvergovaných priemerných hodnôt z intervalu označeného ako „starý“ sa dá vypočítať zostávajúca prevádzková životnosť a zostávajúci celkový čas.

Rozpoznávanie anomálií

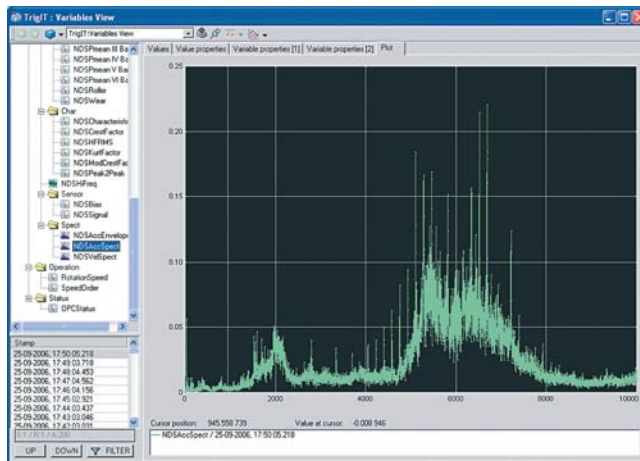
Senzory sú oči a uši riadiacich systémov. V moderných výrobných závodoch monitorujú každý aspekt v činnosti zariadení. Objaviť sa však môžu aj zriedkavé a úplne nové poruchy, ktoré keď sa nezachytia včas a s dostatočnou presnosťou, môžu sa vyskytnúť problémy. Toto treba zohľadniť pri vývoji každého nového systému.

Preferovaná metóda rozpoznávania odchýlok spočíva v tom, že systém podstupuje učenie s bežnými dátami. Na modelovanie bežného správania sa využila tzv. analýza hlavných komponentov (Principal Component Analysis – PCA), založená na báze lineárnej redukcie premenných. Je to efektívna metóda identifikácie vzorov dát a takého ich zobrazovania, ktoré umožňuje zvýrazniť podobnosti a rozdiely medzi nimi. Modelovací PCA nástroj vyvinutý v rámci tohto projektu je univerzálny a použiteľný pre všetky typy procesných dát. V závode Outokumpu sú to vibračné dáta. Ak sa v priebehu času vyskytne porucha, odchýlka od bežného správania sa znázorní v PCA priestore v rezíduu nových dát (hodnota Q), ktoré sa premietajú do modelu PCA. Pri stúpajúcej hodnote Q možno pomocou časových zmien predpovedať čas na dosiahnutie určenej hranice alarmu.

Výsledkom aplikácie PCA modelu na nepoškodené nové ložisko je nekonečná zostatková životnosť. Pomocou kumulovaného opotrebovania je preto vypočítaná zostatková životnosť použitá ako orientačná hodnota. Model PCA poskytne realistickú hodnotu až potom, keď sa roz-



Obr.4 Hotový vyvalcovaný plech vo zvitzku



Obr.5 Spektrum FFT v module DriveMonitor na zrýchlenie odťahového ventilátora s pravdepodobným poškodením v ložisku lopatky

pozná nejakú poruchu, resp. škodu. V tomto prípade sa životnosť sprostredkovaná modelom PCA vníma ako spoľahlivá, pretože tento model poskytuje lepší odhad vývoja škody.

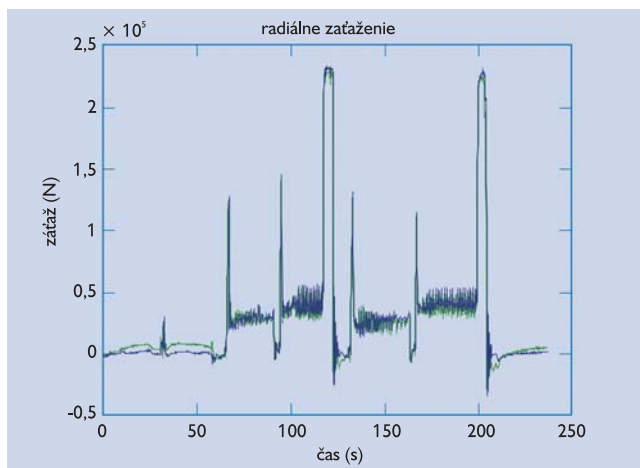
Detekcia stavu zariadení

Každé ložisko musí byť konfigurované, pričom špecifická frekvencia výskytu škody sa počíta na základe údajov výrobcu. Aktuálny a skutočný technický stav ložiska (bezchybný alebo defektný) sa rozpoznáva diagnostickým modulom DriveMonitor. Toto riešenie dokáže rozlíšiť online poškodenie na vonkajšom a vnútornom krúžku, ako aj na valčekoch ložiska. Týmto nástrojom sa dodatočne konfigurujú chybové rozpoznávacie algoritmy pre iné zariadenia. Napríklad na zistenie defektov senzorov v meraní zrýchlenia sa využíva výpočet systematickej chyby a štandardnej odchýlky signálu. Ak výsledok prekročí istú prahovú hodnotu, vyvolá sa alarm. Niektoré signály mimo oblasti monitorovania nástroja DriveMonitor (napr. signály zo senzorov zaťaženia a merania otáčok na výpočet opotrebovania) sú kontrolované priamo monitormi jednotlivých zariadení, aby sa pri prekročení určitej prahovej hodnoty zabezpečilo spustenie adekvátneho alarmu.

Experimentálne výsledky

Systém na optimalizáciu zariadení a monitorovanie technického stavu sa inštaloval pre tieto prevádzkové prostriedky valcovne Outokumpu v Aveste: horná a dolná hnacia kladka, dopravník a odťahový ventilátor. Následne sa dáta zbierané prostredníctvom PC Argus zohľadňujú pre ložiská hornej hnacej kladky.

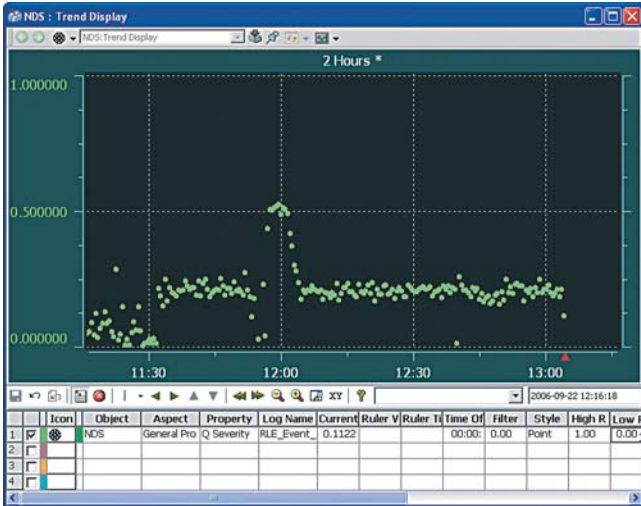
Spracovanie každej platne trvá za bežných okolností od 5 do 7 minút. V tomto prípade sa jednotkou Argus merali otáčky a zaťaženie a ukládali sa do súboru. Dáta sa následne pretransformovali OPC serverom



Obr.6 Radiálne zaťaženie ložísk hornej hnacej kladky na strane pohonov (modrá farba) a pracovnej strane (zelená farba)



Argus do matice OPC. Na obr. 6 vystupujú extrémne špičky zataženia, pretože koniec každej platne naráža na hnciu kladku v momente, keď sa uvoľní napnutá strana každej navíjačky. Výpočty ukázali, že znížením zataženia o polovicu na $1,2 \times 10^5$ N sa predlžuje životnosť ložísk o faktor päť. Výpočet kumulovaného opotrebovania prezentuje rozdielne opotrebovanie pri rôznych platniach. Súvisí to pravdepodobne s hrúbkou platne, časom potrebným na transport k valcu a použitým materiálom. Presnejšia analýza vplyvov rôznych parametrov sa ešte len plánuje.



Obr.7 Q trend vibračných dát odťahového ventilátora stanovený pomocou PCA modelu

Na základe doteraz získaných výsledkov sa zdá rozumné, aby sa predĺžil čas medzi jednotlivými odstávkami vyhradenými na údržbu v prospech produktívnej prevádzky. Algoritmus sa testoval na hornej hncie kladke. Rozdiely v opotrebovaní medzi jednotlivými šaržami sú obzvlášť tu dosť výrazné a môžu sa od seba odchyľovať dokonca o faktor päť. Prejavuje sa to lineárnou charakteristikou na zostávajúcej prevádzkovej životnosti. Obr. 7 znázorňuje Q trend vibračných dát odťahového ventilátora stanovený pomocou PCA modelu.

Výhody pre obe strany

Riešenie pre optimalizáciu a monitorovanie technického stavu zariadení otvára nové možnosti pre ABB. Pokiaľ sa ich uplatnenie na trhu obmedzí iba na odvetvie valcovní, návratnosť investícií do vývoja sa môže očakávať najskôr o šesť rokov. Podľa mienky Andersa Bohlina, vedúceho projektového manažéra v Outokumpu, sa systém v predpokladanej funkčnosti závodu vyplatí už za krátky čas.

Ako sme už spomenuli, systém je vlastne unikátny a možno ho implementovať nielen vo valcovniach, ale v ľubovoľnom priemyselnom závode. Široké možnosti uplatnenia sa javia v papierenskom priemysle a závodoch na spracovanie celulózy, v petrochémii, baníctve, v cementárňach, potravinárstve a vo farmaceutickom priemysle.

Prevzaté z ABB Review, č. 4/2006

Magnus Tunklev

ABB Corporate Research
Västerås, Sweden
e-mail: magnus.tunklev@se.abb.com

Per-Olov Gelin

ABB Industrial Solutions
Västerås, Sweden
e-mail: per-olov.gelin@se.abb.com

Anders Bohlin

Outokumpu Stainless
Valcovňa Avesta
Avesta, Sweden
e-mail: anders.bohlin@outokumpu.com