

Marek MIKA, Grzegorz WALIGÓRA

Institut Informatyki
Politechnika Poznańska

GREEN COMPUTING, CZYLI CO BRANŻA IT MOŻE ZROBIĆ DLA OCHRONY ŚRODOWISKA

GREEN COMPUTING OR WHAT INFORMATION TECHNOLOGY CAN DO FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

In this paper we focus on Green Computing which, in general, refers to environmentally sustainable computing or Information Technology. The field of Green Computing is generally defined as the study and practice of designing, manufacturing, using, and disposing of computers, servers, and associated subsystems – such as monitors, printers, storage devices, and networking and communications systems – efficiently and effectively with minimal or no impact on the environment. The goals of Green Computing are similar to Green Chemistry; reduce the use of hazardous materials, maximize energy efficiency during the product's lifetime, and promote the recyclability or biodegradability of defunct products and factory waste. The research continues into key areas such as making the use of computers as energy-efficient as possible, and designing algorithms and systems for efficiency-related computer technologies. We describe the main approaches to the idea of Green Computing: product longevity, data center design, software and deployment optimization (including algorithmic efficiency, resource allocation, virtualization, and terminal servers), power management (data center power, operating system support, power supply, storage, video cards, and display), materials recycling, as well as telecommuting. Our goal is to show and discuss what the field of Information Technology can do for environmental protection.

1. Wprowadzenie i historia

Pojęcie *Green Computing* jest obecnie ściśle związane z branżą IT (ang. *Information Technology*). *Green Computing* definiuje się jako teorię i praktykę projektowania, wytwarzania, używania i degradowania systemów komputerowych i powiązanych z nimi urządzeń takich jak monitory, drukarki, pamięci masowe, urządzenia komunikacyjne i sieciowe, w sposób wydajny i efektywny z minimalnym wpływem na środowisko naturalne [1]. Cele jakie stawia sobie *Green Computing* są podobne do tzw. „zielonej chemii” (ang. *Green Chemistry*), tzn. redukcja stosowania niebezpiecznych materiałów, maksymalizacja energetycznej efektywności podczas całego życia produktu oraz promocja recyklingu i biodegradacji zużytych produktów i odpadów fabrycznych.



Rys. 1. Przykładowe logo Green Computing

Fig. 1. Exemplary Green Computing logo

Określenie *Green Computing* po raz pierwszy pojawiło się w związku z programem Energy Star, który amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (ang. U.S. Environmental Protection Agency) uruchomiła 20 lat temu (dokładnie w roku 1992). Początkowo był to ochotniczy program do promocji i badania sprawności energetycznej w monitorach, urządzeniach do badania klimatu oraz kilku innych technologiach. Jednym z pierwszych efektów tej działalności było wprowadzenie trybu uśpienia (ang. sleep mode) w elektronicznych urządzeniach konsumenckich. Program Energy Star został zaadaptowany przez wiele krajów, m.in. Australię, Nową Zelandię, Kanadę, Japonię, Taiwan oraz Unię Europejską i stał się międzynarodowym standardem sprawności energetycznej produktów konsumenckich.



Rys. 2. Logo programu Energy Star

Fig. 2. Energy Star logo

Równoległe szwedzka organizacja TCO Development rozpoczęła program TCO Certification, którego zadaniem była promocja niskiej emisji elektromagnetycznej w monitorach komputerowych typu CRT. Później program ten został rozszerzony o kryteria

dotyczące ergonomii, zużycia energii i używania niebezpiecznych materiałów w budownictwie. Oba te programy podejmują kwestię ochrony środowiska naturalnego w kontekście urządzeń elektronicznych, a w szczególności komputerów.



Rys. 3. Logo certyfikatu TCO

Fig. 3. „TCO Certified” logo

2. Regulacje prawne i inicjatywy przemysłowe

Światowa Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. Organisation for Economic Co-operation and Development – OCED) opublikowała przegląd ponad 90 rządowych i przemysłowych inicjatyw w zakresie *Green Computing*. Zawierały one informacje i technologie komunikacyjne dotyczące ochrony środowiska i zmian klimatycznych. Z kolei Unia Europejska wydała dyrektywy 2002/95/WE i 2002/96/WE dotyczące ograniczenia niebezpiecznych substancji oraz odpadów z elektrycznych i elektronicznych urządzeń. Według tych przepisów należy zastąpić ciężkie metale i środki zmniejszające palność we wszystkich sprzętach elektronicznych wprowadzonych na rynek po 1 lipca 2006 roku. Odpowiedzialność w zakresie zbierania śmieci i recyklingu starego sprzętu nałożona jest na producentów. W USA 26 stanów utworzyło program recyklingu przestarzałych komputerów i urządzeń elektronicznych. Według tego programu nakładane są „opłaty odzyskiwania” na każde sprzedane urządzenie lub nakazuje się producentom odzyskiwać sprzęt w procesie utylizacji. W 2010 roku prezydent USA Barack Obama podpisał akt ARRA (ang. American Recovery and Reinvestment Act) dotyczący odzyskiwania urządzeń i inwestycji środków materialnych w m.in. energię odnawialną, inteligentne sieci i poprawę efektywności energetycznej.

Powstało także wiele inicjatyw przemysłowych. Celem projektu CSCI (ang. Climate Savers Computing Initiative) jest dążenie do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej w komputerach w stanie aktywnym i nieaktywnym. Projekt CSCI zapewnia katalog produktów ekologicznych oraz informacje na temat zmniejszenia poboru mocy przez komputer. Program Green Electronics Council oferuje narzędzie wspomagające zakup bardziej ekologicznych produktów. Sprzęt oceniany jest na podstawie 51 kryteriów co pomaga w podjęciu optymalnej decyzji. W 2007 roku kilka kluczowych firm z branży: AMD, APC, Dell, HP, IBM, Intel, Microsoft, Rackable Systems, SprayCool, Sun Microsystems i VMware, założyło globalne konsorcjum Green Grid. Celem tej działalności jest rozwój efektywności energetycznej w centrach przetwarzania danych i ekosystemów w biznesie. Od 2007 roku organizacja Green Grid się rozrosła do kilkuset członków, włączając m.in. organizacje rządowe.

3. Praktyczne podejścia do *Green Computing*

Powszechnie wyróżnia się sześć podstawowych podejść praktycznych do inicjatywy *Green Computing*:

- długowieczność produktów
- projektowanie centrów przetwarzania danych
- optymalizacja na poziomie oprogramowania i sprzętu
- zarządzanie energią
- recykling materiałów
- technologie telekomunikacyjne

W ramach powyższych podejść rozważa się szereg zagadnień szczegółowych, np. wydajność algorytmów, alokacja zasobów, wirtualizacja, serwery terminalowe, zarządzanie energią w centrach komputerowych i centrach danych, wspieranie zarządzania energią przez systemy operacyjne, wydajność energetyczna urządzeń typu monitory, pamięci masowe, karty graficzne itd. oraz wiele innych.

3.1. Długowieczność produktów

Ze względów oszczędnościowych wiele przedsiębiorstw używających komputery wydłuża żywotność swojego sprzętu. Szacunkowy koszt utrzymania sprzętu klasy PC przez 3 lata jest taki sam jak dla okresu 6 lat. Niestety tabele porównawcze nie uwzględniają niektórych czynników. Wydłużenie czasu użytkowania komputerów klasy PC powoduje przerzucenie kosztów z oczywistych kategorii, takich jak hardware, software i utylizacja, do innej grupy kosztów związanych z obniżeniem produktywności użytkowników i wymuszonych przerw w pracy. Przedsiębiorstwa bardzo często nie zdają sobie sprawy z pewnych „ukrytych” kosztów utrzymania starszego typu sprzętu typu PC. Z drugiej strony jednak rynek sprzyja takim decyzjom tworząc coraz lepsze i trwalsze urządzenia. Dodatkowo możliwość wymiany poszczególnych komponentów sprzyja wydłużeniu żywotności – łatwiej i taniej wymienić można samą kartę graficzną, aniżeli płytę główną ze zintegrowaną grafiką. Rynek, w celu wypromowania tego typu zachowania, stworzył pojęcie ekologicznego śladu, jaki urządzenie pozostawia na naszej planecie. Innymi słowy jest to miara zapotrzebowania na surowce naturalne w celu wytworzenia danego urządzenia lub komponentu. Firma Gartner specjalizująca się w badaniu i analizowaniu rynku IT zaleca, aby żywotność komputerów wynosiła 4 lata. W niektórych przypadkach może wynosić 5 lat, lecz tylko i wyłącznie dla komputerów, na których nie zachodzi częsta zmiana oprogramowania. Dla wszystkich innych 4 lata okazują się posiadać najlepszy współczynnik kosztów jawnych (software, hardware i utylizacja) do ukrytych (obniżenie produktywności i przerwy w pracy). Co ciekawe, dla wysokiej klasy specjalistów IT okres ten powinien wynosić maksymalnie 2 lata.

3.2. Projektowanie centrów przetwarzania danych

Centra przetwarzania danych (ang. data center) są ogromnymi konsumentami energii elektrycznej. Ocenia się, że sumaryczne zużycie energii w tych centrach osiągnęło w 2010 roku poziom rzędu 1,1 % – 1,5 % światowego zużycia energii elektrycznej. Departament Energii USA (ang. US Department of Energy) szacuje, że centra danych zużywa-

ją od 100 do 200 razy więcej energii niż standardowe budynki biurowe. Efektywne energetycznie projektowanie centrów danych powinno uwzględniać wszystkie aspekty energetyczne związane z takim centrum – od wyposażenia w sprzęt komputerowy i telekomunikacyjny, urządzenia grzewcze, wentylacyjne i klimatyzujące, aż po samą konstrukcję i konfigurację całego budynku.

W czasach panującego kryzysu firmy zajmujące się przechowywaniem danych dążą do jak największych oszczędności i bardziej efektywnego zarządzania zasobami IT. Rynek IT ściśle zależy od sytuacji panującej na rynku dostarczania energii, ze względu na coraz większe na nią zapotrzebowanie. W celu obniżenia kosztów, firmy coraz częściej decydują się na nowsze i efektywniejsze metody, które w dużej mierze są ekologiczne. Przykładowo, finanse przeznaczone na modernizację systemów chłodzenia w centrach danych potrafią zwrócić się po roku. Większość producentów deklaruje, że ich sprzęt pracuje bez zarzutu w temperaturze 25°C. Poprzez podwyższenie temperatury w serwerowni można bardzo łatwo zaoszczędzić na kosztach związanych z klimatyzacją pomieszczenia. Dodatkowo wiele firm decyduje się na tzw. *freecooling*. Polega on na wykorzystywaniu chłodnego powietrza z zewnątrz do obniżenia temperatury czynnika chłodzącego. Kolejnym czynnikiem obniżającym koszty jest kontrola obiegu powietrza. Zastosowanie kurtyn powietrznych, które służą do kierowania schłodzonego powietrza bezpośrednio na maszynę daje dużo lepsze efekty, aniżeli obniżanie temperatury w całym pomieszczeniu. Zainteresowanie tematem jest tak duże, że znana organizacja Greenpeace opublikowała raport na temat ekologicznych sposobów na zieloną energię. Ekolodzy pochwalili Yahoo za wykorzystanie hydroelektrowni w swoim centrum w Nowym Yorku. Z drugiej strony, na czarnej liście widnieje Facebook. Właściciele centrum w Oregon zostali skrytykowane za kupowanie mocy od firmy bazującej głównie na energii węglowej.



Rys. 4. Centrum danych Facebook w Prineville, Oregon, USA

Fig. 4. Facebook data center, Prineville, Oregon, USA

3.3. Optymalizacja na poziomie oprogramowania i sprzętu

W kolejnych czterech podrozdziałach opisujemy, jak optymalizacja przetwarzania na poziomie oprogramowania i sprzętu może się aktywnie wpisać w inicjatywę *Green Computing*. Podrozdziały te dotyczą kolejno: efektywności algorytmów, alokacji zasobów komputerowych, mechanizmu wirtualizacji oraz serwerów terminalowych.

3.3.1. Efektywność algorytmów

Efektywność algorytmów implementowanych w formie oprogramowania komputerowego ma wpływ na ilość zasobów komputerowych potrzebnych do wykonania danego przetwarzania, a więc pośrednio – na zużycie energii. Mimo, iż wpływ ten nie jest tak znaczący jak innych czynników, to jednak nadal nie pozostaje pomijalny. Opublikowane w 2009 roku badania fizyka z Uniwersytetu w Harvardzie dowodziły, że realizacja typowego zapytania w wyszukiwarce Google powoduje emisję do atmosfery około 7 gramów dwutlenku węgla. Google co prawda zaprzeczył tym wynikom, dowodząc, że przeciętne zapytanie w ich wyszukiwarce produkuje tylko 0.2 grama CO₂, ale biorąc pod uwagę liczbę zapytań w skali roku nadal nie jest to pomijalna wartość. Co ciekawe, współczesne badania grupy GreenIT.fr pokazały, że system operacyjny Windows 7 z pakietem biurowym Office 2010 wymaga dziś 70-krotnie więcej pamięci operacyjnej, niż system Windows 98 z pakietem Office 2000 do napisania dokładnie tego samego tekstu lub wysłania tego samego emaila 10 lat temu. Wszystko to pokazuje, że efektywność stosowanych rozwiązań algorytmicznych w oprogramowaniu komputerowym staje się również znaczącym czynnikiem w kontekście *Green Computing*.

W klasycznej teorii złożoności obliczeniowej algorytmów rozpatruje się złożoność czasową i pamięciową. Czas wykonania oraz zajętość pamięci są jednymi z najważniejszych kryteriów oceny efektywności algorytmów. Bezwzględny czas wykonania (szybkość) algorytmu to po prostu czas potrzebny, aby algorytm wykonał swoje zadanie i zakończył pracę dla ustalonych danych wejściowych. Z kolei złożoność czasowa algorytmu uzależnia czas jego wykonania od rozmiaru instancji problemu wyrażonej przez pewien charakterystyczny dla problemu parametr. Ze względu na fakt, iż współczesne komputery wyposażone są w duże ilości pamięci operacyjnej, teoria złożoności obliczeniowej koncentruje się na złożoności czasowej, a nie pamięciowej algorytmów. Poprawa złożoności czasowej algorytmu, a więc jego efektywności, jest ważnym procesem w kontekście inicjatywy *Green Computing*.

Drugim ważnym czynnikiem praktycznym określającym efektywność algorytmu jest wielkość wykorzystywanej pamięci operacyjnej. Często zdarza się, że działanie algorytmu można przyspieszyć kosztem zużycia pamięci. Dzieje się tak np. kiedy częściowy wynik jest tymczasowo zapisywany, aby nie wykonywać po raz kolejny tych samych obliczeń. Jednakże w wielu sytuacjach przechowywany wynik zajmuje niewielką ilość pamięci i może być prekompilowany w statycznej pamięci, redukując tym samym czas przetwarzania. Zapotrzebowanie algorytmu na pamięć można podzielić na dwie grupy. Pierwsza z nich to pamięć zajęta przez skompilowany kod wykonywalny. W drugiej grupie znajduje się ilość pamięci dynamicznej przyznawanej i używanej podczas przetwarzania programu. Nie zawsze też opłacalne jest przechowywanie wyników w pamięci podręcznej. Okazuje się, że czasami lepszym i efektywniejszym rozwiązaniem jest ponowne przeprowadzenie obliczeń. Niektóre kompilatory mają możliwość decydowania, w oparciu o szereg kryteriów, które rozwiązanie zastosować. Kiedy obliczenia mogą zostać wykonane szybko (np. dodawanie lub operacje bitowe), a ilość danych do bufo-

rowania jest duża, obliczenia można wykonać ponownie. Z drugiej strony małe ilości danych mogą być efektywnie przechowywane w rejestrach i szybkiej pamięci podręcznej.

Kolejnym sposobem na poprawienie efektywności algorytmu jest kompresja danych. Algorytmy kompresji danych pomagają zmniejszyć ilość potrzebnego miejsca w pamięci dyskowej lub zużycie pasma transmisyjnego. Ważne jednak jest, aby uwzględnić czas potrzebny do kompresji i dekompresji danych. W zależności od prędkości transferu danych kompresja może znacząco zmniejszyć czas potrzebny do przesyłu danych.

Innym ważnym czynnikiem mającym wpływ na efektywność algorytmów jest prezentacja uzyskanych danych. Dane mogą być prezentowane za pomocą perforowanej taśmy, wyświetlacza cyfrowego, czy też lokalnych lub zdalnych monitorów komputerowych. Każda z tych metod prezentacji danych jest obciążona kosztami (np. odświeżanie obrazu). Warto także zwrócić uwagę na kodowanie danych. Efektywne kodowanie danych pomaga zaoszczędzić pamięć i zasoby procesora. Do najpopularniejszych metod kodowania należą:

- CSV (ang. Comma Separated Values) – lista wartości oddzielonych przecinkami
- TSV (ang. Tab Separated Values) – lista wartości oddzielona znakiem tabulacji
- HTML (ang. HyperText Markup Language) – język znaczników dla stron internetowych
- XML (ang. Extensible Markup Language) – język formalny przeznaczony do reprezentowania różnych danych w strukturalizowany sposób
- JSON (ang. JavaScript Object Notation) – służy do reprezentowania prostych struktur danych.

Przykładowo, na rynku dostępnych jest wiele produktów, które umożliwiają częściową kompresję pliku HTML. W tym celu łączone są linie w pliku, usuwane niepotrzebne białe znaki lub znaki cudzysłowu, niektóre znaczniki zastępowane są przez krótsze, usuwane są komentarze HTML itp.

Na efektywność algorytmu mają również wpływ właściwości maszyny, na której zostanie uruchomiony, jak i język programowania, w którym algorytm został napisany oraz zastosowane typy danych. Istnieje wiele technik, które programista może wykorzystać w celu zwiększenia efektywności algorytmu. Generalnie dzielą się one na dwie grupy: zależne od środowiska i ogólne. Techniki zależne od środowiska są możliwe do zastosowania tylko na pewnych platformach sprzętowo-programowych i/lub w pewnych konkretnych językach programowania. Techniki ogólne są niezależne od platformy. Przykładowo, liniowe przeszukiwanie nieuporządkowanych tablic może być bardzo kosztowne. Jednak koszty te mogą zostać zredukowane poprzez zastosowanie indeksowanych tablic i przeszukiwań binarnych. Inną przykładową techniką ogólną jest zmiana wielu instrukcji warunkowych IF na instrukcję wyboru SWITCH. Taka zamiana może znacznie zmniejszyć długość drogi instrukcji, zmniejszyć rozmiar programu oraz sprawić, że program staje się czytelniejszy i łatwiejszy w utrzymaniu. Kiedy tylko jest to możliwe należy definiować liczby całkowite zamiast zmiennoprzecinkowych. Pozwoli to szybciej wykonać program. Lepiej jest również definiować struktury danych, których wielkość jest wielokrotnością potęgi liczby 2, co ułatwi pracę kompilatora. Należy unikać dynamicznego przydziału pamięci, kiedy statyczny przydział jest wystarczający. Powinno się również unikać nadmiernego i niepotrzebnego wywoływania funkcji.

Współczesne oprogramowanie komputerowe spotyka się często z krytyką braku efektywności. Wspomniane powyżej przykładowe ogólne techniki mogą prowadzić do poprawy efektywności algorytmów, a w konsekwencji – do oszczędności konsumowanej energii i zmniejszenia emisji dwutlenku węgla.

3.3.2. Alokacja zasobów

Przez efektywną alokację zasobów systemów komputerowych można znacznie zmniejszyć zużycie energii elektrycznej. Polega to najogólniej na rozsyłaniu zadań obliczeniowych do centrów przetwarzania danych, gdzie energia elektryczna jest tańsza. Naukowcy z Massachusetts Institute of Technology, Carnegie Mellon University i Akamai Technologies Inc. testowali algorytm alokacji energii poszukujący tras do miejsca z najmniejszymi kosztami energii elektrycznej. Badania wykazały, że można zaoszczędzić do 40% kosztów energii przy użyciu zaproponowanego algorytmu. Należy jednak zwrócić uwagę, że to podejście nie zmniejsza rzeczywistego zużycia energii, a jedynie koszty firmy opłacającej to zużycie. Jednakże podobna strategia mogłaby być zastosowana do przesyłania danych do lokalizacji, w których sposób wytwarzania energii jest bardziej efektywny i przyjazny dla środowiska. Tego typu podejście było też już stosowane do przesyłania danych i obliczeń w miejsca, w których pogoda pozwala na nieużywanie klimatyzacji w pomieszczeniach, gdzie znajdują się komputery.

Większe centra serwerowe są często zlokalizowane tam, gdzie energia i ziemia, na której znajduje się takie centrum są relatywnie niedrogie i łatwo dostępne. Miejscowa dostępność odnawialnych źródeł energii oraz obecność klimatu pozwalającego na używanie powietrza z zewnątrz do chłodzenia sprzętu komputerowego umożliwia podjęcie „ekologicznych” decyzji dotyczących lokalizacji centrów danych.

Firma 1&1 oferująca usługi hostingowe podjęła wyzwanie przerobienia budynków przeznaczonych do produkcji prętów z mieszanki wzbogaconego uranu i plutonu na potrzeby energetyki atomowej. Powstało centrum danych o powierzchni 10 000 m², mogące pomieścić 100 tysięcy serwerów. To centrum danych jest całkowicie przyjazne środowisku, a jego zasilanie zostało zapewnione wyłącznie z odnawialnych źródeł energii. W celu redukcji zapotrzebowania na moc elektryczną w budynku wykorzystywana jest technologia *freecooling*. W porównaniu do standardowo używanych metod klimatyzacji, *freecooling* jest sposobem tanim i przyjaznym środowisku. W tym centrum danych oferowane są również usługi związane z przetwarzaniem w chmurze (ang. *Cloud Computing*) [2].



Rys. 5. Centrum danych firmy 1&1 w Kansas, USA

Fig. 5. 1&1 data center, Kansas, USA

3.3.3. Wirtualizacja

Coraz częściej rynek IT dostrzega ekologiczne zalety wirtualizacji. Zauważono, że stosowanie tego mechanizmu ogranicza koszty zasilania i chłodzenia na rzecz zwiększenia wydajności posiadanego sprzętu. W 2012 roku liczba wirtualnych maszyn osiągnęła rząd 4 milionów. Pod koniec roku 2011 wirtualnych desktopów było aż 660 milionów.

Największe międzynarodowe korporacje takie jak Citrix, Microsoft, HP czy Sun już od dłuższego czasu oferują rozwiązania udostępniania obszaru do uruchomienia usług na własnych maszynach i dostarczania wyników do komputerów użytkowników. Nowe technologie korzystające z pełnej wirtualizacji oferowane przez VMware, Citrix czy Microsoft umożliwiają obsługę wielu wirtualnych maszyn z poziomu systemów Windows XP, Windows Vista czy Windows 7. Do terminali trafia przez sieć jedynie obraz pulpitu zdalnego, który obsługuje się identycznie jak stacjonarną maszynę – poprzez mysz i klawiaturę. Jak łatwo zauważyć, wpływa to na zużycie energii czyniąc terminale, jak i same serwerownie, energooszczędnymi. Wirtualizacja sprzyja też redukcji serwerów fizycznych.



Rys. 6. iMac wykorzystujący pulpit zdalny

Fig. 6. iMac with remote desktop

Dodatkowym plusem stosowania wirtualizacji jest gwarancja ciągłości innowacyjności infrastruktury informatycznej np. spełnienia warunków umowy SLA (ang. Service Level Agreement) w przypadku wprowadzenia wszelkiego rodzaju zmian. Rozwiązania wirtualizacji zmniejszają nakłady inwestycyjne dzięki połączeniu skomplikowanych modułów informatycznych w jedną całość oraz wynikającej z tego automatyzacji procesów. Jednocześnie wirtualizacja minimalizuje ryzyko utraty danych spowodowanych przez nieplanowane przestoje, a także przyczynia się do skrócenia czasu odzyskiwania systemu po awariach.

Wirtualizacja komputerów stacjonarnych jest, obok dostarczania aplikacji dla przedsiębiorstw, jedną z popularniejszych usług świadczonych przez centra danych. Umożliwia to stworzenie elastyczniejszej i płynniejszej infrastruktury IT, która szybciej reaguje na zmiany rynku i pojawienie się nowocześniejszych technologii. Wdrażanie aplikacji jest szybsze i efektywniejsze. Dodatkowo łatwiej można zapobiec kradzieży danych, na które narażony jest każdy komputer w sieci. Koszty związane z zabezpieczeniami również maleją – taniej jest wykupić licencję na jedną fizyczną maszynę, aniżeli 15 wersji na każdy komputer kliencki. Jednym z najpopularniejszych systemów do wirtualizacji desktopów jest produkt firmy Citrix z systemem XenDesktop. Obecnie platforma pozwala dostarczać 125 desktopów VDI (ang. Virtual Desktop Interface), 500 hostowanych, współdzielonych desktopów oraz 5000 przesyłanych strumieniowo desktopów lokalnych z jednego fizycznego serwera, wykorzystującego procesor Intel Xeon 5500. Niestety najnowsza wersja kosztuje około 75\$ za licencję w standardowej wersji i aż 350\$ za wersję Platinum. W zamian za to użytkownik otrzymuje możliwość logowania się z dowolnego miejsca oraz możliwość instalowania osobnych środowisk – służbowego i prywatnego – na jednym „komputerze”.

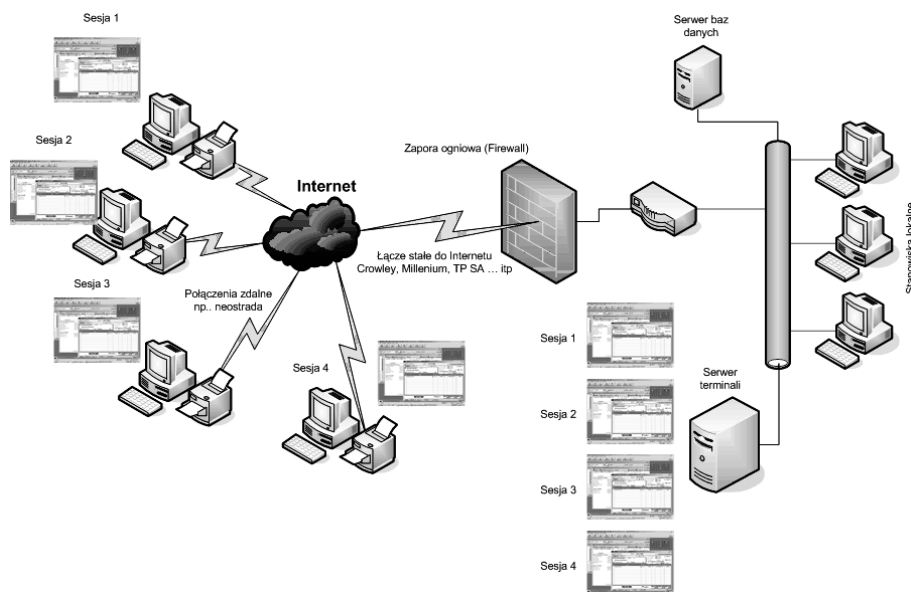
Aplikacjami wykorzystującymi wirtualizację są rozwiązania Exchange firmy Microsoft, Oracle czy SAP. Mechanizm działający w przypadku Exchange potrafi podwoić wydajność systemu dzięki uruchamianiu wszystkich ról serwera, w tym skrzynek pocztowych, filtrów spamowych, terminarza, itp. Systemy baz danych Oracle uruchamiane dzięki wirtualizacji mają krótszy czas wprowadzania i wyszukiwania danych, co przekłada się na koszty eksploatacji. Program XenApp jest produktem firmy Citrix, który umożliwia scentralizowanie zarządzania różnorodnymi aplikacjami i dostęp z dowolnego miejsca, w dowolnej chwili, poprzez dowolny sprzęt, przy użyciu dowolnego połączenia. Cena odpowiedniego oprogramowania zaczyna się od 350\$ za użytkownika w wersji Advance i kończy na 600\$ za wersję Platinum. Wersja Advance umożliwia wirtualizację systemów Windows Server 2003 oraz Windows 2000. Wersja Platinum to zdalny dostęp do wszystkich aplikacji systemu Windows, monitor wydajności aplikacji, nagrywanie sesji oraz ochrona antywirusowa.

Producenci sprzętu również dostrzegli potencjał wirtualizacji. Stosowana w procesorach Intel technika IVT (ang. Intel Virtualization Technology), dzięki której pojedynczy procesor może zachowywać się tak, jakby był kilkoma procesorami działającymi równolegle, pozwala systemowi na pracę kilku procesorów jednocześnie. Podobnie technika AMD-V (ang. AMD Virtualization) pozwala wykorzystać moc procesora w rozwiązaniach do wirtualizacji firm Microsoft, Citrix, czy VMware. Intel, aby jeszcze bardziej uatrakcyjnić mechanizm wirtualizacji, zdecydował się na implementowanie go w bardzo powszechnych procesorach. Intel Core i7 Extreme, Intel Core i7, Core 2 Extreme oraz kilka procesorów z serii Core 2 Quad to modele bardzo popularne na polskim rynku. Producent deklaruje, że technika IVT pojawi się również w modelach z serii Intel Core 2 Duo, dwurdzeniowych Pentium, a nawet dwurdzeniowych Celeronach. W przypadku firmy AMD, procesory wspomagające technologię AMD-V to przede wszystkim serie Athlon 64 (Orleans), Athlon 64 X2 (Windsor) oraz Athlon 64 FX (Windsor). Zgodność posiadają również serie Athlon 64 i Athlon 64 X2 (rodzina oznaczona literą „F” i „G”), najnowsze Turion 64 X2, Opteron drugiej i trzeciej generacji, Phenom i Phenom II. Należy zwrócić uwagę na procesory linii Sempron, tutaj producent zdecydował się na nieimplementowanie mechanizmu sprzętowego wspomagania wirtualizacji.

Niezależne badania przeprowadzone przez Citrix Virtualization Index dowiodły, że według kadry zarządzającej wirtualizacja może zaoszczędzić nawet 16% kosztów związanych z zasilaniem i chłodzeniem. Prognozuje się, że w 2014 roku wartość ta wzrośnie do poziomu 27%. Większość projektów typu „Tech Refresh” polega na wprowadzeniu mechanizmów wirtualizacji do przedsiębiorstwa.

3.3.4. Serwery terminalowe

Serwery terminalowe również zyskały na popularności dzięki oszczędnościom, które firmy uzyskują dzięki tej technologii. Mechanizm jest bardzo prosty. Użytkownik otrzymuje tylko komputer, za pomocą którego łączy się do serwera. To właśnie tam wykonywane są wszystkie procesy, zadania, żądania, operacje, itp. Dzięki temu, że wszystkie aplikacje są uruchamiane z jednego komputera (i fizycznie „raz” instalowane), administrator, przy znacznie mniejszym nakładzie środków, może zapewnić wszystkim użytkownikom dostęp do tych samych usług i aplikacji. Dodatkowo serwer terminalowy można stosować, gdy przedsiębiorstwo dysponuje wolnym łączem internetowym, a niezbędne jest łączenie się z oddziałami. Skuteczniejsze jest przesyłanie samego obrazu ekranu przez sieć, aniżeli ogromnych ilości danych które są nam niezbędne np. do wygenerowania raportu. Nowoczesne serwery terminalowe potrafią również wykorzystać lokalną drukarkę podłączoną do komputera, który utworzył sesję. Dzięki serwerowi terminalowemu przedsiębiorstwo nie jest zmuszone do wymiany sprzętu IT, który nie jest wystarczająco nowoczesny aby obsłużyć rozbudowane systemy. Również w tym kontekście usługi terminalowe umożliwiają spore oszczędności.



Rys. 7. Przykładowy schemat infrastruktury IT wykorzystującej serwer terminalowy

Fig. 7. Example of IT infrastructure with terminal server

Serwer terminalowy jest powszechnym pojęciem w dziedzinie *Green Computing*. Tzw. „cienki klient” – komputer, który jest minimalistyczną wersją PC – zużywa 1/8 energii potrzebnej do zasilenia zwykłej stacji roboczej. W przypadku dużej firmy prowadzi to do ogromnych oszczędności. Koszt zakupu takiego urządzenia jest bardzo zróżnicowany, jednak jest on znacznie tańszy niż zwykły komputer. Głównymi firmami zajmującymi się produkcją cienkich klientów są HP, Dell, Devon, czy Wyse.

Cena podstawowego zestawu wynosi około 200\$ – w zamian za to dostajemy urządzenie wyposażone w procesor 1 GHz, 256 SDRAM, 4 sloty USB oraz kartę sieciową Ethernet. Na uwagę zasługuje tu brak dysku HDD, który producenci uważają za zbędny. Jako system operacyjny HP proponuje Microsoft Windows Embedded SP 2 kompatybilny z wieloma nowoczesnymi systemami dostarczającymi usługi terminalowe (Windows 2000/2003 Server, Windows Terminal Edition, Citrix MetaFrame, itd.) [3].

Na uwagę zasługuje również fakt wykorzystania w infrastrukturze serwerów terminalowych urządzeń typu PDA (ang. Personal Digital Assistant) klasy PocketPC lub też niezwykle dziś popularnych smartfonów czy tableatów. Pozwala to na nieograniczony dostęp do programów, nawet tych, które nie mają swojej wersji mobilnej. Równocześnie jest to nieocenione narzędzie pracy dla administratora – może on w dowolnym miejscu i czasie połączyć się z administrowanym serwerem.

Najpopularniejszymi systemami operacyjnymi, które instaluje się na serwerach terminalowych są Microsoft Windows oraz Linux z odpowiednim oprogramowaniem. W przypadku produktu z Redmond wykorzystywany jest komponent Remote Desktop Services (znany jako Terminal Services do wersji Windows Server 2008), który umożliwia dostęp do zasobów serwera dzięki protokołowi RDP (ang. Remote Desktop Protocol). Z kolei Linux oferuje aplikację Linux Terminal Server Project (LTSP). Jest to projekt otwartego oprogramowania umożliwiający podłączenie wielu komputerów-terminali, nazywanych często X-terminalami, w roli cienkiego klienta do serwera linuksowego. Aplikacje są uruchamiane na serwerze, a terminal zajmuje się przekazywaniem do nich danych wejściowych i wyświetlaniem wyjściowych. X-terminals są najczęściej pozbawionymi dysków twardych komputerami o niewielkiej mocy obliczeniowej.

3.4. Zarządzanie energią

Jednym z najistotniejszych aspektów green computingu jest zarządzanie energią, czyli takie projektowanie i używanie informatycznych rozwiązań sprzętowych i programistycznych, które pozwalają na osiągnięcie zamierzonego celu obliczeniowego przy mniejszym zużyciu energii. Mniejsze zużycie energii ma bezpośrednie przełożenie na stan środowiska naturalnego, ponieważ wśród wielu różnych, pozytywnych efektów takiego działania, można między innymi wymienić zarówno mniejsze zużycie paliw konwencjonalnych, jak i mniejszą emisję dwutlenku węgla do atmosfery.

Zarządzanie energią można rozpatrywać na różnych poziomach począwszy od projektowania sprzętu, w szczególności procesorów, układów grafiki, monitorów, zasilaczy, drukarek i urządzeń pamięci masowej, poprzez organizowanie systemów zasilania dla centrów przetwarzania danych, a skończywszy na opracowywaniu standardów i rozwiązań, które ułatwiają zarządzanie energią z poziomu oprogramowania.

3.4.1. APM

Jednym z pierwszych podejść do zarządzania energią w komputerach klasy PC był standard Advanced Power Management (APM) opracowany wspólnie przez Microsoft i Intela na początku lat 90-tych XX wieku. Jego pierwsza wersja ujrzała światło dzienne w 1992 roku, a najnowsza poprawiona i ostatnia wersja 1.2 [4] została wydana w roku 1996. Microsoft wspierał tę technologię w systemach operacyjnych MS Windows aż do wydania wersji Vista. W systemach linuksowych w większości dystrybucji APM nadal jest wspierane przez jądro systemu.

APM jest interfejsem API pomiędzy systemem operacyjnym a BIOS-em. APM jest realizowane w architekturze warstwowej, w której dwie wyższe warstwy działają po stronie systemu operacyjnego, a dwie niższe po stronie sprzętu. Oprogramowanie mające funkcjonalność pozwalającą na zarządzanie energią (na ogół sterownik odpowiedniego urządzenia) komunikuje się z tym urządzeniem poprzez sterownik APM będący elementem systemu operacyjnego. Sterownik APM komunikuje się z BIOS-em, który bezpośrednio steruje danym urządzeniem. Sterownik APM pośredniczy w komunikacji pomiędzy systemem operacyjnym a urządzeniem w obydwu kierunkach. W jednym kierunku wysyła do systemu operacyjnego informacje o zdarzeniach APM zachodzących w urządzeniu, a w drugim wysyła z systemu operacyjnego do BIOS-u informacje i żądania dotyczące zarządzania energią.

Dokumentacja APM definiowała między innymi kilkanaście zdarzeń i funkcji związanych z zarządzaniem energią. BIOS był w stanie informować system operacyjny o zdarzeniach związanych z zarządzaniem energią, a polegających m.in na przejściu w stan uśpienia, osiągnięciu niskiego poziomu baterii, przejściu w stan oczekiwania przy niskim poborze energii itp. Funkcje natomiast pozwalały między innymi uzyskać informacje na temat bieżącego stanu zasilania lub też na zmianę tego stanu na inny.

APM również definiowało stany poboru dla całego systemu komputerowego, jak i dla pojedynczych urządzeń. W przypadku systemu komputerowego wyróżniono pięć stanów: i) system w pełni zasilany, ii) system zarządzany przez APM (stan w którym system jest zasilany, ale APM steruje poborem energii przez urządzenia w zależności od potrzeb), iii) system w stanie wstrzymania (większość urządzeń w stanie niskiego poboru energii, procesor spowolniony lub zatrzymany, a stan systemu zapamiętany – pamięć RAM zasilana, szybki powrót do normalnego trybu pracy), iv) system w stanie uśpienia (większość urządzeń wyłączona, stan systemu zapamiętany w pamięci masowej, powrót do normalnego trybu pracy wymaga czasu, szczególnie w przypadkach stan hibernacji), v) system wyłączony. W przypadku urządzeń wyróżniono cztery stany: i) urządzenie włączone (w pełni zasilane), ii) urządzenie w stanie zarządzania energią (w pełni zasilane, ale niektóre funkcje mogą być niedostępne lub działać ze zmniejszoną wydajnością), iii) urządzenie w stanie niskiego poboru energii (urządzenie nie działa, utrzymywany jest minimalny poziom zasilania niezbędny do wzbudzenia działania urządzenia), iv) urządzenie wyłączone. Urządzeniem traktowanym w szczególności jest procesor, który powinien być ostatnim wyłączanym i pierwszym włączanym urządzeniem, i z tego powodu nie może być sterowany inaczej niż przez funkcje BIOS-u.

3.4.2. ACPI

Następcą standardu APM jest otwarty standard ACPI (Advanced Configuration and Power Interface). O ile w przypadku APM zarządzanie energią w systemie komputerowym odbywało się przez funkcje BIOS-u i firmware urządzeń, o tyle w ACPI ciężar ten przeniesiono na system operacyjny, który może bezpośrednio wpływać na aspekty zarządzania energią w zarządzanych przez siebie urządzeniach systemu komputerowego. Odłączenie zasilania od monitora, napędu optycznego, czy dysku twardego po pewnym ustalonym okresie bezczynności są doskonale znanymi przykładami zastosowania ACPI.

Pierwsza wersja standardu ACPI [5] została opublikowana w grudniu 1996. W opracowywaniu tej wersji brały udział Intel, Microsoft i Toshiba. Do prac nad późniejszymi wersjami włączyły się również firmy HP i Phoenix. Najnowszą wersją standardu jest opublikowana pod koniec 2011 roku wersja 5.0 [6].

Z założenia ACPI miało całkowicie zastąpić trzy wcześniejsze standardy APM, MPS (MultiProcessor Specification) oraz specyfikację Plug and Play BIOS, przy czym dwa ostatnie dotyczyły przede wszystkim konfigurowania urządzeń, a nie zarządzania energią. Jak już wspomniano w standardzie APM system operacyjny miał ograniczony dostęp do ustawień komputera dotyczących zarządzania energią. Stan ten uległ znaczącej zmianie w standardzie ACPI, w którym system operacyjny uzyskał niemal całkowitą kontrolę nad zarządzaniem energią w urządzeniach systemu komputerowego.

Kolejną istotną zmianą wprowadzoną przez ACPI było rozszerzenie obszaru stosowania zasad zarządzania energią, wcześniej spotykanych głównie w urządzeniach mobilnych, na obszar projektowania i używania komputerów stacjonarnych i serwerów. Dzięki temu każdy, nie tylko mobilny, system komputerowy można przenieść w stan bardzo niskiego poboru energii, w którym większość urządzeń ma odłączone zasilanie (lub zasilana jest w minimalnym stopniu) i może być z tego stanu w bardzo krótkim czasie przeniesione do stanu pełnego zasilania w reakcji na jedno z kilku standardowych wydarzeń jak np. przerwanie pochodzące z klawiatury lub innego urządzenia wskazującego, karty sieciowej, modemu itp.

Ponadto jedno z założeń standardu pozwala również na wykorzystanie klawiatury do sterowania zasilaniem komputerem. Istnieje możliwość przypisania klawiszy do funkcji wyłączenia i włączania zasilania i/lub zawieszenia pracy komputera. Cecha ta pozwoliła niektórym producentom na wprowadzenie w klawiaturach tych producentów dodatkowych klawiszy (tzw. klawiszy zarządzania energią).

Do pełnego wykorzystania udogodnień oferowanych przez ACPI niezbędny jest zarówno system operacyjny z zaimplementowaną pełną funkcjonalnością ACPI, jak i odpowiednio zaprojektowany sprzęt wspierający odpowiednią wersję ACPI wliczając w to chipset płyty głównej, urządzenia zewnętrzne a także w niektórych przypadkach procesor. O ile ACPI jest w pełni wspierane przez system MS Windows począwszy od wersji 98, a także przez FreeBSD od wersji 5.0, o tyle w innych systemach uniwersalnych, w tym w wielu dystrybucjach systemu Linux, ACPI wspierane jest tylko w pewnej części. Spowodowane jest to w dużej mierze jednym dość kontrowersyjnym założeniem standardu ACPI, które mówi, że kod binarny pochodzący z zewnętrznego źródła musi mieć pełne prawa dostępu w systemie operacyjnym.

W systemie komputerowym, w którym uaktywniono ACPI, system operacyjny przejmuje całkowitą kontrolę nad wszystkimi aspektami zarządzania energią. Zarówno system komputerowy w całości, jak i pojedyncze urządzenia oraz procesor muszą być tak zaprojektowane, aby mogły osiągnąć zdefiniowane w standardzie stany. Standard definiuje: i) stany globalne, w których może znaleźć się cały system, ii) stany urządzeń, stosowanych do poszczególnych urządzeń systemu, iii) stany procesora, odnoszące się do jednostki centralnej, a także iv) stany wydajności odnoszące się do pracy procesora lub innego urządzenia. Przegląd poszczególnych stanów zaczniemy od stanów urządzeń a skończymy na stanach globalnych.

Zdefiniowane są cztery stany urządzeń oznaczane symbolami od D0 do D3 (D odpowiada angielskiemu słowu device oznaczającemu urządzenie). Stan D0 oznacza stan zwykłej pracy urządzenia przy pełnym zasilaniu. Po przeciwnej stronie jest stan wyłączenia (D3), w którym urządzenie nie reaguje na żadne sygnały pojawiające się na magistrali. D1 i D2 są stanami pośrednimi, odrębnie definiowanymi dla każdego urządzenia z osobna.

Wśród stanów procesora wyróżniono również 4 stany energetyczne oznaczane symbolami od C0 do C3 (C odpowiada angielskiemu CPU, akronimowi powszechnie oznaczającemu procesor). Stan C0 jest standardowym stanem pracy procesora. Stan C1 to

tw. „stan zatrzymania” (ang. Halt), w którym procesor nie wykonuje żadnych rozkazów, ale jest w stanie natychmiastowo przejść do stanu pełnej funkcjonalności. Nowsze procesory (np. Pentium 4) wspierają również stan C1E, tzw. rozszerzony stan C1, w którym procesor znajduje się w stanie niskiego poboru energii. Stan C2, określane mianem „zatrzymanego zegara” (ang. Stop-Clock), oznacza stan, w którym procesor jest widoczny z poziomu oprogramowania, ale przywrócenie go do stanu pełnej funkcjonalności może zająć więcej czasu. Stan ten jest stanem opcjonalnym. Ostatni ze stanów C3, określane jako stan uśpienia (ang. Sleep) jest również stanem opcjonalnym i charakteryzuje się tym, że procesor nie musi utrzymywać spójnej zawartości pamięci podręcznej. Ten stan jest implementowany w niektórych procesorach z kilkoma wersjami tego stanu jak np. głębokie uśpienie, głębsze uśpienie itd., charakteryzujących się tym, że i głębszy poziom uśpienia tym dłuższy czas potrzebny jest do pełnego wybudzenia procesora do stanu pełnej funkcjonalności.

W przypadku stanów globalnych definiuje się 4 stany od G0 do G3 (G odpowiada angielskiemu Global) oraz sześć stanów uśpienia od S0 do S5 (S odpowiada and. Sleep). W stanie pracy G0 (working), będącym domyślnym stanem pracy systemu komputerowego, wszystkie programy łącznie z systemem operacyjnym działają w normalnym trybie, a procesor (lub procesory) i pozostałe urządzenia normalnie wykonują wszystkie polecenia. W tym stanie możliwe jest wielokrotne przełączanie procesora i pozostałych urządzeń w stan niższego poboru energii. Procesor może pracować w jednym ze stanów C0-C3, a urządzenia w stanie D0-D3. Stan G0 jest równoważny stanowi S0. Ponadto w S0 wyróżnia się pewien stan specjalny, w którym monitor jest wyłączony, ale działają zadania w tle (tzw. „awaymode”). Stan uśpienia G1 (sleeping) dzieli się na cztery inne stany S1 do S4, przy czym każdy kolejny stan jest stanem głębszego uśpienia, z którego przełączenie do stanu D0 zajmuje więcej czasu niż ze stanu o niższym numerze. W stanie S1 pamięci podręczne (wszystkich poziomów) procesora są czyszczone, a procesor przestaje wykonywać rozkazy. Zasilanie procesora i pamięci RAM jest utrzymywane, natomiast pozostałe urządzenia mogą być wyłączone. Stan S2 jest stanem głębszego uśpienia, w którym odcinane jest zasilanie od procesora. Kolejny stan S3 znany jest jako stan wstrzymania, uśpienia lub wstrzymania do pamięci. Jest to stan, w którym jedynym zasilanym podzespołem systemu komputerowego jest pamięć RAM i dzięki temu możliwy jest w miarę szybki powrót do stanu D0. Ostatni stan z grupy stanów G1, to stan S4 znany powszechnie jako stan hibernacji, bezpiecznego uśpienia lub wstrzymania do dysku. W tym przypadku zawartość pamięci operacyjnej jest zapisywana na dysku, co ma jedną zasadniczą wadę, jak i jedną zasadniczą zaletę. Niewątpliwą wadą jest znacznie wydłużony czas powrotu do stanu D0, ponieważ wszystkie dane wcześniej przeniesione na dysk muszą być z powrotem przeniesione do pamięci operacyjnej. Natomiast główną zaletą jest to, że nawet całkowite odcięcie zasilania nie powoduje utraty danych przechowywanych w pamięci przed przejściem w stan G1, co niestety ma miejsce w przypadku stanu S3. Stan G2 (równoważnie S5) nosi nazwę programowo wyłączonego a stan G3 mechanicznie wyłączonego. Różnica pomiędzy tymi dwoma stanami polega na tym, że przejście w stan G2 następuje w sposób programowy np. przez wydanie przez użytkownika polecenia zamknięcia systemu. W stanie G2 zasilacz cały czas działa dostarczając zasilania na minimalnym poziomie pozwalającym na powrót do stanu S0 po naciśnięciu przycisku zasilania na obudowie komputera lub po wybudzeniu komputera przez naciśnięcie przycisku na klawiaturze, przerwanie zegarowe, sygnał z modemu, karty sieciowej lub portu USB. Natomiast w stanie G3 zasilanie jest całkowicie odcięte, również od zasilacza (np. przez wyłączenie przyciskiem przy zasilaczu lub przez odłączenia przewodu zasilającego). Jest to jedyny bezpieczny stan jeśli chodzi o możliwości

montażu i demontażu podzespołów komputera, ponieważ jedynymi zasilanymi w tym stanie układami są pamięć CMOS i zegar czasu rzeczywistego zasilane ze specjalnie do tego celu zainstalowanej baterii. Ponadto po utracie źródła zasilania system automatycznie przechodzi w stan G3. Powrót do stanu G0 ze stanów G2 i G3 wymaga pełnego restartu.

Ostatnią grupą stanów są stany wydajności oznaczane P0 do P n , przy czym stan P0 jest stanem najwyższej wydajności a n nie może być wyższe niż 16. Każdy stan o numerze wyższym zużywa mniej energii niż poprzedni, ale odbywa się to kosztem wydajności. Technologie pozwalające na takie rozwiązania to SpeedStep w procesorach Intela, PowerSaver (LongHaul) w procesorach VIA, LongRun w układach Transmetry, czy też PowerNow! lub Cool'n'Quiet w procesorach AMD. Wszystkie z wymienionych tu technologii pozwalają osiągnąć zmniejszone zużycie energii poprzez zmianę napięcia zasilania i/lub częstotliwości pracy procesora. Oczywiście zmniejszone zużycie energii pociąga za sobą zmniejszoną wydajność procesora.

3.4.3. Zarządzanie energią w centrach danych

W punkcie 3.2 wspomnieliśmy o projektowaniu centrów przetwarzania danych, które obecnie należą do grupy obiektów o największym zużyciu energii. W roku 2006 zużycie energii przez około 6 tysięcy centrów przetwarzania danych mieszczących się na terenie Stanów Zjednoczonych wyniosło ponad 61 miliardów kilowatogodzin, co kosztowało około 4,5 miliarda dolarów i był to koszt wyższy niż koszt energii użytej w tym samym czasie przez wszystkie odbiorniki telewizyjne używane na terenie USA [7]. Jak już wspomniano według szacunków Departamentu Energii USA konsumpcja energii przez centra przetwarzania danych wynosi około 1,5% całkowitego zużycia energii i każdego roku rośnie mniej więcej o 10%. Rząd Stanów Zjednoczonych ustanowił minimalny cel jakim jest 10% redukcja zużycia energii przez centra przetwarzania danych. Jest to ilość energii jaką w skali roku zużywa około miliona typowych gospodarstw domowych w USA.

Jednym z rozważanych obecnie podejść, które mogą przyczynić się do obniżonego zużycia energii, jest lokalizowanie centrów przetwarzania danych w pobliżu źródeł energii odnawialnej takich jak farmy wiatrowe czy też solarne, w myśl zasady, że przesyłanie danych jest dużo tańsze niż przesyłanie energii na tę samą odległość.

Kolejnym interesującym pomysłem pozwalającym obniżyć koszty energii konsumowanej przez centra przetwarzania danych jest zastosowanie w takich centrach serwerów z procesorami ARM. Procesory z tej rodziny są już powszechnie używane w wielu urządzeniach mobilnych takich, jak smartfony i tablety. Niepodważalną cechą procesorów ARM jest ich energooszczędność, która prawdopodobnie jeszcze przez jakiś czas pozostanie poza zasięgiem głównych konkurentów. ARM pracuje obecnie nad 64-bitową wersją swoich procesorów, podczas gdy wielu producentów serwerów w tym HP i Dell wypuściły już na rynek pierwsze serwery z wieloma wielordzeniowymi procesorami ARM.

Jednym z pierwszych centrów przetwarzania danych, w którym mają być zastosowane energooszczędne rozwiązania bazujące na czterordzeniowych procesorach Tegra 3 produkowanych przez firmę NVIDIA oraz procesorach graficznych wykorzystujących architekturę CUDA jest znajdujące się w Barcelonie centrum komputerowe Centro Nacional de Supercomputación [8]. Głównym celem, wartego 14 mln euro, projektu jest skonstruowanie na energooszczędnych procesorach wydajnego i energooszczędnego superkomputera, który trafi na listę Top500 [9] (listę 500 komputerów na świecie

o największej mocy obliczeniowej) i będzie miał pięciokrotnie mniejsze zużycie energii w porównaniu do najbardziej energooszczędnego superkomputera z Top500. Szacuje się, że zastosowanie procesorów ARM w miejsce procesorów obecnie stosowanych w serwerach w dużych centrach danych pozwoli docelowo osiągnąć trzydziestokrotnie mniejsze zużycie energii.

Innymi interesującymi podejściami jest wykorzystanie do zasilania nietypowych źródeł energii, a także tańsze sposoby chłodzenia serwerów i wtórne wykorzystanie ciepła wytworzonego w serwerowniach centrów przetwarzania danych. Jedno z bardziej nietypowych źródeł energii zostało w 2007 zaproponowane przez szkockiego producenta masywnie równoległych komputerów firmę SiCortex [10]. W tym przypadku serwer konsumujący 1,5 kW energii na osiągnięcie 0,5 teraflopa przy pamięci rzędu 1TB jest zasilany siłą ludzkich mięśni, a dokładniej przez 8-10 rowerzystów ćwiczących na rowerach treningowych. Pomysł ten można by więc wprowadzić w życie umieszczając w bezpośrednim sąsiedztwie centrum przetwarzania danych salę do ćwiczeń wyposażoną w odpowiedni sprzęt.

Dość ciekawym pomysłem jest również propozycja lokalizowania centrów przetwarzania danych w chłodniejszych obszarach naszej planety. W takim przypadku można by do chłodzenia serwerów wykorzystać odpowiednio oczyszczone i osuszone chłodne powietrze z zewnątrz bez potrzeby stosowania urządzeń klimatyzacyjnych. Pośrednią korzyść w oszczędzaniu energii może też przynieść wtórne wykorzystanie powietrza użytego w procesie chłodzenia serwerów. Takie ogrzane przez chłodzone serwery powietrze może być wykorzystane do [11]: ogrzewania szklarni (Concordet w Paryżu), ogrzewania mieszkań i powierzchni biurowej (Telehouse West w Londynie), ogrzewania wody w pobliskim basenie (centrum IBM-a Uitikon w Szwajcarii), ogrzewania palmiarni i ogrodu botanicznego (The Notre Dame Center for Research Computing), ogrzewania wody ciepłociągu (centrum przetwarzania danych w Helsinkach oraz centrum danych uniwersytetu w Syracuse).

Dość powszechną praktyką w wielu centrach przetwarzania danych jest całościowa wymiana starszego sprzętu na bardziej energooszczędny nowy. Jednak jeśli weźmie się pod uwagę zużycie energii potrzebnej na wyprodukowanie nowego sprzętu i na utylizację starego, to ten zysk wydaje się być dość iluzoryczny.

3.4.4. Systemy operacyjne

Najpopularniejszym na świecie systemem operacyjnym jeśli chodzi o dziedzinę komputerów stacjonarnych jest MS Windows. Pierwsze próby zarządzania energią zostały wprowadzone do niego już w wersji Windows 95, gdzie pojawił się stan wstrzymania oraz możliwość przełączenia monitora w stan niskiego poboru energii. Kolejne funkcje takie jak stan hibernacji oraz pełne wsparcie dla standardu ACPI.

Pierwszym systemem Windows z rodziny NT, w którym uwzględniono funkcje zarządzania energią był Windows 2000. Wymagało to wprowadzenia wielu, i to czasami dość poważnych, zmian w architekturze systemu. Ponadto konieczne okazało się wprowadzenie nowego modelu sterowników sprzętu. Wprowadzona w Windows 2000 możliwość centralnej konfiguracji wielu cech systemu przez administratora nie mogła być jednak zastosowana w przypadku zarządzania energią. Wynikało to prawdopodobnie z faktu powiązania wpisów w rejestrze dotyczących użytkownika i sprzętu. W ten sposób kwestię konfiguracji ustawień związanych z zarządzaniem energią pozostawiano każdemu użytkownikowi, jako kwestię indywidualnych upodobań. Sytuacja ta uległa zmianie dopiero w Windows Vista, gdy Microsoft zdecydował się na częściową zmianę

systemu zarządzania energią umożliwiając w ograniczonym zakresie centralną konfigurację profilu zarządzania energią. Kolejne zmiany pojawiły się w Windows 7, gdzie doświadczonym użytkownikom zaoferowano możliwość indywidualnego dostosowania niektórych cech systemu związanych z zarządzaniem energią, jak chociażby zarządzanie energią procesora, czy też możliwość dopasowania jaskrawości monitora.

Zupełnie inaczej sytuacja wygląda w systemach unixowych, gdzie ze względu na bezpieczeństwo nie zaimplementowano pełnej funkcjonalności standardu ACPI. Natomiast kwestia zarządzania energią jest kwestią indywidualną zależną od systemu operacyjnego.

Oprócz mechanizmów zarządzania energią z poziomu systemu operacyjnego istnieje wiele rozwiązań w postaci oprogramowania oferowanego przez innych producentów. Poziom oferowanych funkcji zależy od konkretnego pakietu oprogramowania i w najprostszych rozwiązaniach oferuje indywidualne ustawienia właściwości zarządzania energią dla każdego użytkownika, a w najbardziej zaawansowanych wiele różnorodnych planów zasilania, zmianę planów zasilania według harmonogramu, czy też monitorowanie zużycia energii w całym przedsiębiorstwie. Listę takiego oprogramowania można znaleźć między innymi na serwerach inicjatywy EnergyStar [12]. Wśród najbardziej interesujących pakietów oprogramowania tego typu wymienić można oferowany przez firmę IE pakiet NightWatchman Enterprise, Power Save Enterprise firmy Faronics, Surveyor oferowany przez Verdiem, czy też SysTrack Power Management firmy Lakeside Software, Inc., który reklamowany jest jako rozwiązanie, które już po trzech dniach użytkowania zmniejszy emisję CO₂ generowaną przez systemy komputerowe przedsiębiorstwa.

3.4.5. Zasilacze

Do połowy pierwszej dekady XXI wieku większość zasilaczy komputerowych dla serwerów i komputerów stacjonarnych miała sprawność rzędu 70-75%. Pozostała część energii była zamieniana w ciepło. Inicjatywa o nazwie 80 PLUS [13] miała na celu opracowanie systemu testów pozwalających sprawdzić rzeczywistą sprawność zasilaczy. Motywacją dla producentów miał być certyfikat wydawany przez 80 PLUS, świadczący o tym, że produkowana przez nich wersja zasilacza ma sprawność rzędu co najmniej 80%. Począwszy od połowy roku 2007 również specyfikacja Energy Star 4.0 wymaga 80% sprawności zasilacza. Już w roku 2006 HP i Dell mogły poszczycić się faktem, że wszystkie produkowane przez nich zasilacze miały 80% sprawność. Na początku roku 2008 ponad 200 modeli zasilaczy dla komputerów stacjonarnych miało 80% sprawność i w ten sposób stało się to obowiązującym standardem rynkowym. 80 PLUS nie poprzestało jednak na tym i na początku 2008 przedefiniowało swoje standardy dodając trzy dodatkowe certyfikaty brązowy, srebrny i złoty, a w następnych latach dwa dodatkowe platynowy i tytanowy. Te nowe standardy określają coraz większą wymaganą sprawność mierzoną przy 4 różnych poziomach obciążenia. W przypadku certyfikatu brązowego wymaga się sprawności rzędu 81% przy pełnym obciążeniu i 85% przy obciążeniu połowicznym. Natomiast standard platynowy wymaga 91% sprawności przy pełnym obciążeniu i 94% przy obciążeniu połowicznym.

Niektórzy producenci starają się wykorzystać popularność certyfikatu 80 PLUS nadając swoim produktom podobne nazwy np. „85 plus”. Niestety nie ma to nic wspólnego ze standardem i oficjalnym certyfikatem, więc wiarygodność informacji o sprawności takiego zasilacza jest wątpliwa.

3.4.6. Pamięć masowa

Każdy użytkownik komputera mobilnego dobrze wie o tym, że jednymi z pierwszych urządzeń, które przechodzą w stan niskiego poboru energii są wszelkiego rodzaju napędy pamięci masowej, zarówno dyski twarde, jak i napędy optyczne. Daje się to zauważyć w konstrukcji nowszych mniejszych i bardziej energooszczędnych rozwiązań. Cechą charakterystyczną netbooków jest brak napędu optycznego, a w przypadku tabletów nawet brak typowego dysku twardego.

Sama konstrukcja napędu dysku twardego również ulega zmianie. Zastosowanie mniejszych napędów 2,5" lub 1,5" wiąże się z mniejszym zużyciem energii przypadającym na jeden GB.

Kolejnym przełomowym rozwiązaniem w zakresie oszczędzania energii konsumowanej przez napęd pamięci masowej jest zastosowanie dysków SSD (solid-state drive), w którym zamiast dysków magnetycznych zastosowano pamięć FLASH lub DRAM. Brak jakichkolwiek elementów mechanicznych w takim rozwiązaniu przekłada się na obniżone zużycie energii. Ponadto czas dostępu do danych jest o wiele krótszy, co dodatkowo przekłada się na mniejsze zużycie energii. Jednak obecny stan rozwoju tej technologii nie pozwala na budowanie dysków o pojemności równie dużej jak w przypadku klasycznych dysków magnetycznych. Ponadto jest to nadal kosztowna technologia, która jeszcze nie do końca poradziła sobie ze wzrostem czasu dostępu do danych wraz ze wzrostem pojemności takiego dysku. Jednakże dyski SSD wydają się być technologią przyszłości.

Jedna z analiz przeprowadzonych przez firmę Fusion-io [14], producenta dysków SSD, pokazuje, że redukcja zużycia energii w serwisie społecznościowym MySpace, uzyskana przez zastąpienie wszystkich macierzy dyskowych w serwerach dyskami SSD może sięgnąć 80%.

Z drugiej jednak strony niskie i ciągle spadające ceny klasycznych dysków twardych sprawiają, że w wielu instytucjach, w których duże wolumeny danych archiwalnych lub kopi zapasowych nie są już przechowywane na taśmach lub dyskach optycznych, lecz są dostępne online. Oprócz niewątpliwych zalet, jakimi są ciągła dostępność tych danych i łatwość obsługi (nie jest wymagana wymiana taśmy czy też dysku), główną wadą jest zwiększone zużycie energii.

3.4.7. Karty graficzne

Jeśli bliżej przyjrzeć się najbardziej wydajnym kartom graficznym znajdującym się w bieżącej ofercie wielu producentów, uwagę na pewno przykuje duży radiator i jeden bądź kilka wentylatorów umieszczonych na tej karcie w celu chłodzenia procesora graficznego. Taka konstrukcja jednoznacznie wskazuje, że układy grafiki są jednymi z podzespołów systemu komputerowego, które zużywają bardzo dużo energii.

Niektóre badania [15] wykazują wręcz, że GPU może być tym podzespołem systemu komputerowego, który zużywa najwięcej energii.

W przypadku kart graficznych rozwiązania prowadzące do zmniejszonego zużycia energii polegają na:

- 1) Całkowitym wyeliminowaniu karty graficznej. Takie rozwiązanie najczęściej stosowane jest w przypadku serwerów. Do najpopularniejszych podejść należą tutaj użycie wspólnego terminala dla kilku serwerów, dostęp do funkcji systemu z poziomu przeglądarki, czy też zastosowanie wspomnianego wcześniej cienkiego klienta

- 2) Zastosowanie układu graficznego znajdującego się na płycie głównej. Taki układ na ogół nie ma aż takich możliwości jak osobny układ grafiki, ale też konsumuje dużo mniej energii i na ogół jest wystarczający w komputerach przeznaczonych przede wszystkim do prac biurowych.
- 3) Wybieraniu kart graficznych o niskich parametrach zużycia energii (w stanie bezczynności, średniego, czy też wydajności przypadającej na każdy zużyty wat energii).

3.4.8. Monitory

W chwili obecnej już bardzo rzadko spotyka się w użyciu monitory CRT, które zużywały dużo więcej energii niż monitory LCD. Co prawda monitory LCD, też zużywają jej sporo, ale prowadzone są badania prowadzące do mniejszego zużycia energii zastąpienie sposobu podświetlania ekranu z lamp fluorescencyjnych z zimną katodą na matrycę diod LED, zmniejszyło zużycie energii poprawiając jednocześnie ekologiczność rozwiązania, ponieważ w diodach LED nie stosuje się miedzi, która była wykorzystywana w lampach fluorescencyjnych.

Ponadto cały czas powstają nowe rozwiązania w dziedzinie monitorów, z których wiele cechuje się mniejszym zużyciem energii przy lepszych parametrach obrazu. Od lat mówi się o monitorach laserowych, OLED-owych, holograficznych itd. O tym, która z tych technologii zastąpi w przyszłości obecne monitory LCD zadecydują sami producenci, jeśli którykolwiek z nich zdecyduje się na zainwestowanie w linię produkcyjną monitorów nowej technologii. Być może grozi nam w tym zakresie podobny stan jak w przypadku dwóch technologii video VHS i Beta. Mimo zalet i przewag tego drugiego rozwiązania standardem stało się VHS, ponieważ producentom VHS-u bardziej opłacał się zapobiegać masowemu produkowaniu sprzętu dla formatu Beta, niż zainwestować w nową linię produkcyjną. Być może z podobną sytuacją mamy do czynienia w chwili obecnej w przypadku monitorów LCD i rozwiązań konkurencyjnych.

3.5. Recykling materiałów

Rozważając tę „zieloną” stronę informatyki nie sposób nie wspomnieć o recyklingu materiałów. Komisja Europejska wręcz narzuciła na producentów i sprzedawców sprzętu elektronicznego obowiązek recyklingu. Jednak wskaźniki gromadzenia odpadów elektronicznych nadal są niskie nawet w krajach o największej świadomości ekologicznej. Dla przykładu we Francji w roku 2011 stosunek liczby zgromadzonych odpadów elektronicznych w stosunku do liczby sprzedanych urządzeń elektronicznych wyniósł zaledwie 14%.

W procesie recyklingu sprzętu komputerowego istotne jest z jednej strony zapobieganie przedostawaniu się do środowiska naturalnego substancji szkodliwych takich jak ołów, miedź czy niektóre związki chromu, a z drugiej strony próba odzyskania rzadkich i drogich surowców wykorzystywanych do produkcji sprzętu komputerowego.

Również materiały eksploatacyjne mogą podlegać recyklingowi. W szczególności dotyczy to kartridżów i kaset na atrament i toner, baterii i papieru.

Jednym z pomysłów na to co zrobić z wycofywanym z użycia sprzętem komputerowym jest przeznaczenie do ponownego użycia całych zestawów komputerowych bądź ich podzespołów na zasadzie odsprzedaży lub darowizny. Dzięki temu można znacznie zmniejszyć ilość odpadów elektronicznych. Najczęściej wysuwany argumentem

przeciw takim praktykom jest fakt, że około 80% takiego sprzętu trafia do krajów rozwijających się, które na ogół nie mają aż tak restrykcyjnych przepisów proekologicznych, jak ma to miejsce w Ameryce Północnej i Unii Europejskiej. W efekcie sprzęt ten przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego w tych krajach, do których trafia za niewielką cenę.

Pewny problem przy utylizacji komputerów stanowi ochrona prywatności. Brzmi to może dość dziwnie, ale dla osób, które mają pełną świadomość sposobu działania pamięci dyskowej takie dziwne już nie jest. Na dyskach twardych komputera niejednokrotnie zapisujemy istotne dane, które nie powinny trafić w niepowołane ręce. Wylizować tu wystarczy chociażby emaile, hasła, numery licencyjne oprogramowania, czy numery kart kredytowych. O ile są one w miarę bezpieczne dopóki korzystamy z naszego komputera, o tyle oddanie dysku twardego w niepowołane ręce może zakończyć się utratą tych danych, ponieważ nawet po usunięciu ich z dysku mogą one nadal być odczytane przez fachowca posiadającego odpowiednią wiedzę i odpowiedni sprzęt. Zaleca się więc zdemontowanie i fizyczne zniszczenie dysku lub umieszczenie go w bezpiecznym miejscu. Można też oddać go autoryzowanej firmie przeprowadzającej utylizację, która na piśmie gwarantuje bezpieczeństwo danych.

3.6. Telepraca

Ostatnim aspektem ekologiczności rozwiązań informatycznych jest telepraca. Na pierwszy rzut oka być może trudno dopatrzeć się w tym cech ekologicznych, ale już nieco głębsza analiza pokazuje, że takie rozwiązanie może mieć istotny wpływ na jakość środowiska naturalnego.

Jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań w telepracy są teleobecność i telekonferencje. Chociaż wydaje się, że jest to rozwiązanie, w którym występuje zwiększone zużycie energii ponieważ wymaga zastosowania odpowiednich urządzeń elektronicznych w kilku miejscach jednocześnie, z których każde zużywa określoną porcję energii, to jednak ten koszt może być i tak niższy niż korzyści z tego wynikające. Spróbujmy wylizować co najmniej kilka takich korzyści. Po pierwsze pracownik nie musi odbywać podróży służbowej, dzięki czemu przyczynia się do obniżenia emisji gazów cieplarnianych. Po drugie nie jest potrzebna tak duża powierzchnia biurowa. Jeśli policzyć się koszty utrzymania pomieszczenia biurowego, na które składają się koszty ogrzewania, klimatyzacji, oświetlenia, utrzymania w czystości itd. nie tylko samego biura, ale również przyległych pomieszczeń jak korytarze, windy itp., to otrzymujemy kolejną wyraźną oszczędność. Dołączmy do tego dodatkowe koszty powiązanych z tym działań. Wielu pracowników w podróży służbowej zatrzymuje się na noc w hotelach. Tu również mamy do czynienia z poborem energii na potrzeby ogrzewania, oświetlenia, klimatyzacji, utrzymania czystości nie tylko pokoi, ale również ogólnodostępnych pomieszczeń hotelowych. Dodajmy do tego jeszcze koszty i zanieczyszczenie środowiska powodowane przez środki komunikacji miejskiej, jakimi pracownik dojeżdża z hotelu do biura i z biura do hotelu. Po zsumowaniu tych wszystkich nakładów i ich wpływu na środowisko naturalne okaże się, że telekonferencja, czy też teleobecność jest znacznie tańszym rozwiązaniem.

Ponadto integracja sieci telefonicznych z sieciami informatycznymi jest kolejnym obszarem, w którym można zaoszczędzić na kosztach, a jednocześnie wpłynąć na poprawę stanu środowiska naturalnego.

3.7. Podsumowanie

Green Computing jest obecnie jednym z najpopularniejszych aspektów rozwoju branży IT. Przeniesienie wielu rozwiązań informatycznych do codziennego życia oraz coraz większe zapotrzebowanie na moc obliczeniową i przestrzeń pamięci do przechowywania danych sprawiają, że nie można przemilczeć udziału branży jako zagrożenia dla środowiska naturalnego. Pozyskiwanie dóbr naturalnych do produkcji oraz późniejszego użytkowania systemów komputerowych, przyczynia się w coraz większym stopniu do zanieczyszczenia i degradacji środowiska naturalnego. Niezbędne jest wobec tego podjęcie działań, które przyhamują lub wręcz powstrzymają te niekorzystne dla środowiska naturalnego zjawiska. Można to osiągnąć na wiele sposobów poczynawszy już od fazy odpowiedniego projektowania sprzętu, algorytmów i systemów komputerowych, a skończywszy na fazie recyklingu i utylizacji sprzętu, który jest wycofywany z użycia. W osiągnięciu tych celów mają pomóc między innymi różnorakie specyfikacje i standardy opracowywane przez różne komercyjne i niekomercyjne organizacje, które zawiązywane są między innymi w tym celu. Nie ulega wątpliwości, że czeka nas jeszcze długi i intensywny rozwój systemów komputerowych, jednakże już podjęte działania proekologiczne, jak i coraz większa świadomość ekologiczna producentów z branży IT, dają nadzieję, że rozwój ten nie będzie się odbywał z uszczerbkiem dla środowiska naturalnego.

Bibliografia

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Green_computing
- [2] <http://www.dcservis.pl/2009/10/21/zaskakujace-lokalizacje-centrow-danych/>
- [3] http://hp.vecmar.com/products/productpage.asp?pid=7439-HP_t5700_Thin_Client
- [4] Advanced Power Management (APM): Bios Interface Specification. *Intel Corporation. Microsoft Corporation. 1996.*
- [5] Advanced Configuration and Power Interface Specification (revision 1.0). *Intel, Microsoft, Toshiba. 1996. (http://www.acpi.info/spec10.htm)*
- [6] Advanced Configuration and Power Interface Specification (revision 5.0). *Hewlett-Packard Corporation, Intel Corporation, Microsoft Corporation, Phoenix Technologies Ltd., Toshiba Corporation. 2011. (http://www.acpi.info/spec50.htm)*
- [7] Kurp P. Green Computing, *Communications of the ACM*, 2008, 51 (10) 11-13.
- [8] <http://www.bsc.es>
- [9] <http://www.top500.org>
- [10] http://top500.org/blog/2007/10/27/human_powered_supercomputing
- [11] <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2010/02/03/data-centers-heat-offices-greenhouses-pools/>

-
- [12] http://www.energystar.gov/index.cfm?c=power_mgt.pr_power_mgt_comm_packages
- [13] <http://www.80plus.org>
- [14] <http://community.fusionio.com/media/p/458/download.aspx>
- [15] <http://www.xbitlabs.com/articles/graphics/display/power-noise.html>
- [16] <http://www.greenit.fr/article/materiel/recyclage/deee-l-europe-revoit-ses-objectifs-a-la-hausse-3482>

