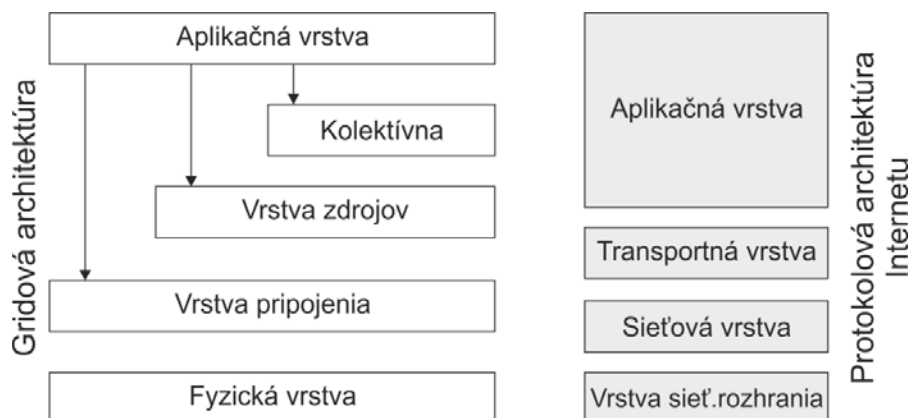


## Gridová architektúra

Každá vrstva v architektúre gridu predstavuje istú funkcionálnu poskytnutú danou vrstvou na základe vrstvy, ktorá je pod ňou. Horné vrstvy sú spravidla zamerané na používateľské požiadavky, zatiaľ čo vrstvy smerom dole sú čoraz viac zamerané na hardvér. Stredná vrstva sa nazýva *middleware* a poskytuje abstrakciu hardvéru a umožňuje interoperabilitu heterogénneho hardvéru a softvéru. Vrstvová architektúra gridových systémov vychádza z modelu siete internetu. Internetová architektúra obvyčajne označovaná ako TCP/IP model sa skladá zo skupiny komunikačných protokolov usporiadaných do vrstiev. S ohľadom na TCP/IP model vrstiev bola navrhnutá aj gridová architektúra a obsahuje nasledujúce vrstvy [FKT01]: *aplikácie, kolektívne služby, zdroje, protokoly pripojenia a fyzickú vrstvu*. Architektúru vrstiev pre grid a jej vzťah k TCP/IP modelu znázorňuje Obrázok 0-2.



Obrázok 0-2 Vrstvový model architektúry gridu [FKT01].

Funkčnosť určitej vrstvy je definovaná zodpovedajúcimi službami a/alebo protokolmi a je vyjadrená pomocou vhodného rozhrania pre programovanie aplikácií (Application Programming Interfaces, API) a vývojárskeho nástroja (Software Development Kit, SDK), aby bola dosiahnuteľná aj pre ďalšie vývojárske prostredia a jazyky. Ďalej je uvedený stručný opis jednotlivých vrstiev gridu zdola nahor.

**Fyzická vrstva:** Táto vrstva sa skladá zo samotných výpočtových, úložných a sieťových zdrojov, ktoré sú predmetom zdieľania v gride. Zahŕňa rôzne technické zariadenia, vysoko-rýchlostné komunikačné siete, počítačové a pamäťové systémy a rôzne typy senzorov a prístrojov, ktoré je možné pripojiť na grid. Pre prístup k týmto zdrojom vrstva poskytuje vhodné jednotné mechanizmy a protokoly, čím umožňuje dokonalé využitie a spoluprácu vo vyšších vrstvách.

**Vrstva pripojenia:** Táto vrstva zahŕňa hlavné komunikačné a autentifikačné protokoly. Sieťová komunikácia založená na protokole TCP/IP umožňuje výmenu dát medzi zdrojmi fyzickej vrstvy. Bezpečnostné mechanizmy v tejto vrstve umožňujú autentifikáciu, vrátane mechanizmu Single Sign On, procesu delegovania, integrácie s miestnymi bezpečnostnými riešeniami, ako aj vzťahy dôvery medzi jednotlivými entitami v gride.

**Vrstva zdrojov:** Vrstva poskytuje protokoly na získanie informácií o konkrétnych zdrojoch a manipuláciu s nimi. Vrstva zdrojov sa zaoberá jednotlivými zdrojmi z vrstvy pod ňou.

**Vrstva kolektívnych služieb:** Táto vrstva sa zameriava na komplexnú koordináciu rôznych zdrojov. Podobne ako vrstva zdrojov, ktorá sa zaoberá jedným zdrojom, táto vrstva poskytuje podobné funkcie pre kolekciu zdrojov, ako sú sprostredkovateľské, monitorovacie, diagnostické, strategické a iné služby.

**Aplikačná vrstva:** Posledná vrstva sa skladá z používateľských aplikácií, nástrojov, portálov a vývojových prostredí. Patria sem aj tzv. servisné služby, ktoré poskytujú určité všeobecné manažérske funkcie.

Uvedený vrstvený pohľad gridovej architektúry predstavuje abstraktný model, ktorý zastrešuje väčšinu gridových systémov a ich štruktúry, ktoré sú v súlade s touto všeobecnou architektúrou. Architektúra bola vyvinutá v súlade s pôvodnými verziami gridového nástroja *Globus Toolkit*, ktorý bol do tej doby zbierkou takmer nezávislých, rôznych nástrojov. Softvérový nástroj Globus Toolkit (<http://www.globus.org/toolkit/>) sa stal v posledných rokoch jedným z najpoužívanejších nástrojov pre stavbu gridu, pomocou neho boli napríklad vybudované aj gridové systémy obrovských nadnárodných projektov, napr. *EÚ EGEE* (EU Enabling Grids for E-sciencE, <http://eu-egee-org.web.cern.ch>), v súčasnosti transformovaná na European Grid Infrastructure ([www.egi.eu](http://www.egi.eu)).

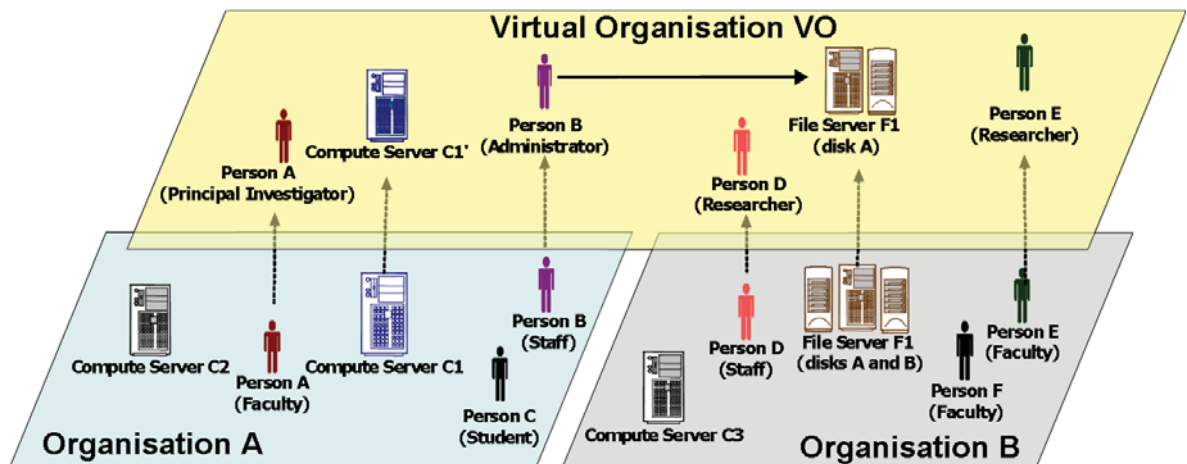
## Definícia virtuálnej organizácie

*Virtuálna organizácia* (VO) je sieť spájajúca geograficky rozptýlených jednotlivcov, či iné zoskupenia s čiastočne sa prekrývajúcimi cieľmi za účelom zhromaždenia doplnkových kľúčových kompetencií [JJS98]. Zjednodušenie je možné VO vyjadriť ako abstraktnú entitu zoskupujúcu používateľov, inštitúcie a zdroje v tej istej administratívnej doméne pre pružné a efektívne dosiahnutie spoločných cieľov, Obrázok 0-3. Typológia navrhnutá Shao a kol. [SLW98] identifikuje štyri charakteristické rysy virtuálnej organizácie:

- Konektivita, ktorou sa ustanovujú väzby, ktoré predtým neexistovali.
- Účel, ktorý vytvára spoločný stimul pre entity vo virtuálnej organizácii.
- Technológia, ktorá umožňuje pripojenie.
- Hranica, ktorá oddeľujú tých, ktorí sú súčasťou VO a tých, ktorí súčasťou VO nie sú.

Významnú úlohu tu zohráva dôvera medzi jednotlivými entitami, keďže bezpečnostné rozhodnutia nie sú vykonané tradičným spôsobom osobného kontaktu daných entít, a keďže údaje, ako aj strategické rozhodnutia a ciele sú zdieľané s nezávislými účastníkmi VO. Vďaka väčšej autonómii sú VO účastníci viac kladení na rovnocennú úroveň a majú väčšiu nezávislosť ako je tomu pri tradičnom hierarchickom usporiadaní.

Virtuálne organizácie môžu byť aplikované v rôznych veľkostiach. Napríklad je bežné, že multidisciplinárne výskumné tímy s členmi z niekoľkých akademických inštitúcií spolupracujú na projektoch s veľkým množstvom účastníkov. Oproti tomu je možné formovať napr. malé dočasné, ad hoc virtuálne organizácie, ktoré slúžia len pre jednorazovú formu spolupráce.



Obrázok 0-3 Virtuálna organizácia podľa [FC05]

Gridové počítanie založené na virtuálnych organizáciách predstavuje nový prístup pri spolupráci a riešení problémov vyžadujúcich nadmerné výpočtové a dátové operácie. Napríklad poskytovatelia aplikačných služieb, služieb skladovania, poskytovatelia výpočtových služieb, univerzitní výskumníci a konzultanti zastrešení jednou vládnu agentúrou môžu vytvoriť virtuálnu organizáciu pre podporu okamžitého rozhodovania pre riadenie životného prostredia.

Všeobecné požiadavky kladené na VO sú [FKT01]:

- Vysoko flexibilné zdieľanie vzťahov, počínajúc od vzťahu klient-server, cez peer-to-peer, až po sprostredkované, tranzitívne vzťahy.
- Komplexná a vysoká úroveň kontroly nad tým, ako sa používajú zdieľané prostriedky, vrátane jemnozrnného riadenia prístupu, delegovania a aplikovania lokálnej a globálnej politiky.
- Zdieľanie rôznych zdrojov, od programov, súborov a dát, po senzory a siete.
- Rozmanité spôsoby využitia v rozsahu od jedno-používateľského k viac používateľskému, od výkonnostne až po finančne nenákladného, a zahŕňajúce otázky kvality služieb, plánovania, pridelovania a účtovateľnosti.

Príkladom virtuálnych organizácií môže byť napr. aktuálny zoznam virtuálnych organizácií zapojených do projektu NorduGrid<sup>36</sup>, ktorý uvádza viac ako 17 virtuálnych organizácií: NorduGrid members, NorduGrid developers, NorduGrid tutorials, BaBar, EDG ALICE, EDG ATLAS, EDG Genomics ... Členovia VO NorduGrid developers sú uvedení nasledovni účastníci:

<sup>36</sup> <http://www.nordugrid.org/monitor/volist.php>

```
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=nbi.dk/CN=Anders Waananen"  
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=quark.lu.se/CN=Balazs Konya"  
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=tsl.uu.se/CN=Mattias Ellert"  
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=hep.lu.se/CN=Oxana Smirnova"  
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=nbi.dk/CN=Jakob Langgaard Nielsen"  
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=uio.no/CN=Aleksandr Konstantinov"  
"/C=EE/O=Grid/OU=ut.ee/CN=Ilja Livenson"  
"/O=Grid/O=NorduGrid/OU=hip.fi/CN=Marko Niinimaki"  
"/DC=org/DC=balticgrid/OU=ut.ee/CN=Aleksei Nazarov"
```

Ako sa virtuálne organizácie stále viac zameriavali na distribuovanú multi-inštitucionálnu spoluprácu, narastala aj zložitosť bezpečnej autentifikácie a autorizácie v systéme. V tradičných gridových infraštruktúrach podporujúcich virtuálne organizácie sú tieto mechanizmy spravidla budované na identitách interakčných entít. Hoci využívanie VO predstavuje jednoduchý a intuitívny prístup, s narastaním veľkosti VO, sa ich správa stáva nepraktickou. Členstvo vo virtuálnej organizácii sa môže dynamicky meniť, práva môžu byť entitám pridelené periodicky, alebo sa rola používateľov v organizácii môže dynamicky vyvíjať. Uvedené činitele spôsobili, že sa pri udeľovaní práv používateľovi viac sleduje nie jeho samotná identita, ale iné, pre pridelenie významnejšie atribúty, ako je inštitucionálna príslušnosť alebo pozícia v spolupracujúcom projekte [SSB02].

## Plánovanie v gride

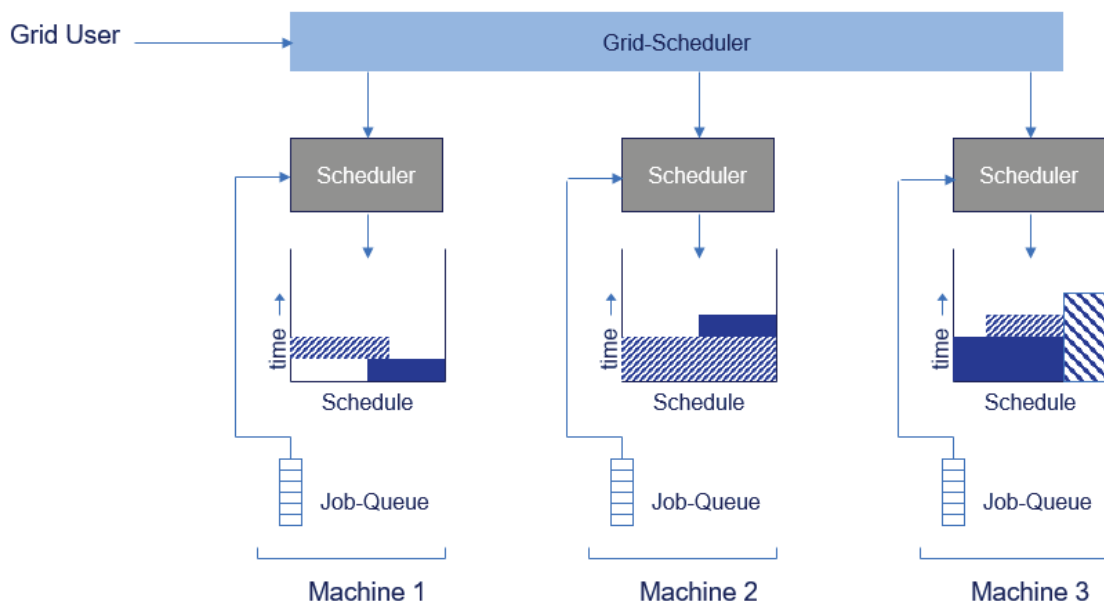
Pod plánovaním úloh v gridovom prostredí sa rozumie alokáciu úloh na dostupné zdroje v čase tak, aby sa splnili zadané kritéria, napríklad minimalizovala doba dokončenia poslednej úlohy alebo maximalizovalo využitie zdrojov. Dôraz je kladený na usporiadanie úloh v čase.

Plánovacie a informačné služby zohrávajú dôležitú úlohu pri samotnom vykonávaní úloh v gride. Informačné služby dopĺňajú plánovací systém a poskytujú informácie o stave a dostupnosti zdrojov v gride. Zdroje v gride môžu byť buď fyzické zdroje, ako sú procesory, pamäť a šírka pásma siete, alebo služby poskytované jednotlivými uzlami. Naplánovanie úlohy na vykonanie v určitom uzle vyžaduje splnenie dvoch požiadaviek zo strany uzla: (i) zdroj spĺňa stanovené minimálne a špecifické požiadavky kladené na kvalitu služieb (QoS) pre vykonanie úlohy, (ii) zdroj priamo slúži na vykonávanie úloh. Potvrdenie obidvoch požiadaviek poskytujú informačné služby gridu.

Efektívne plánovanie úloh v gride nie je jednoduché vzhľadom na to, že grid je rozsiahly, komplikovaný a heterogénny systém s častými zmenami, o čo sa starajú práve plánovacie služby. Medzi zmeny patrí napríklad príchod nového uzla do systému alebo naopak výpadok uzla z gridu z dôsledku zlyhania hardvéru alebo zlyhania siete, pričom plánovacie služby musia presunúť vykonávanie naplánovanej úlohy na iný uzol. Navyše úloha môže pozostávať z niekoľkých čiastkových podúloh, ktoré sa vykonávajú na rôznych uzloch v gride. Tieto čiastkové úlohy môžu mať medzi sebou závislosti z pohľadu poradia ich vykonávania, ktoré musí plánovací algoritmus brať do úvahy. Ďalším príkladom je plánovanie úlohy, ktorá má veľmi veľký vstupný súbor, kde je

potrebné brať do úvahy aj geografická poloha uzla, na ktorom sa úloha vykonáva, aby nedochádzalo k vysokým komunikačným nákladom. Plánovacie služby robia rozhodnutia na základe informácií o gride poskytnutých informačnými službami [F09].

Výstupom plánovacieho procesu je v jednoduchšom prípade fronta úloh (jedna alebo viac, prípadne pre každý zdroj samostatná) alebo rozvrh, Obrázok 0-4. Rozvrh je oproti fronte komplexnejšia dátová štruktúra obsahujúca nielen informácie o umiestnení úloh na jednotlivé zdroje, ale aj informácie o čase ich spracovania. Navyše nájdenie optimálneho rozvrhu vzhľadom k nejakému kritériu je náročný problém (NP úplný problém), čo v praxi znamená, že už pre veľmi malý počet úloh a zdrojov je nájdenie optimálneho rozvrhu nerealizovateľné v rozumnom čase. Z tohto dôvodu sa v praxi nehľadá optimálne riešenie, ale riešenie suboptimálne, ktoré je možné nájsť v akceptovateľnom čase. K tomu sa používa množstvo heuristik [KMR07].



Obrázok 0-4 Plánovací proces v gride [FC05]

## Programovacie modely v gride

Vznik gridových technológií umožnil nový spôsob ako riešiť problémy zapojením distribuovaných vysoko výkonných počítačov, databáz, vedeckých prístrojov, sietí a ďalších zdrojov. Aplikovanie gridového počítania na paralelné výpočtové problémy poskytuje pružnejšie zdieľanie dát a nové stratégie funkčného a dátového zdieľania.

Pokročilé vedecké a technické komunity využívajú paralelné výpočty pri riešení ich rozsiahlych a zložitých problémov už dlhšiu dobu. Napriek tomu je ťažké efektívne realizovať paralelné aplikácie. S cieľom pomôcť rozvoju paralelných aplikácií bolo navrhnutých a implementovaných niekoľko programovacích modelov. Najpopulárnejšie z nich sú štandard *OpenMP* pre programovanie systémov so zdieľanou pamäťou a štandard *MPI* (Message Passing Interface) pre systémy s distribuovanou pamäťou.

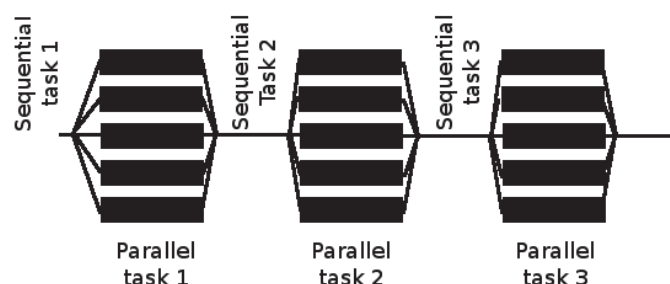
Ďalším dôležitým technologickým trendom týkajúcim sa paralelných výpočtov je počítanie na grafických kartách. Uvedené programovacie modely je možné využívať aj pri cloud computingu.

### Štandard OpenMP

Štandard OpenMP je platformou využívajúcou viacjadrové procesory, pričom program vykonaný jednojadrovým procesorom je prepracovaný do paralelného programu s pomocou knižnice OpenMP pre zdieľanú pamäť, ktorá implicitne využíva metódu vlákien. OpenMP je prenositeľný, škálovateľný model, ktorý ponúka programátorom jednoduché a flexibilné rozhranie pre vývoj paralelných aplikácií so zdieľanou pamäťou pre platformy od stolových počítačov až po superpočítače.

Rozhranie umožňuje rozdelenie kódu do dvoch oddelených častí. Prvá časť kódu je spustiteľná paralelne; druhá časť obsahuje tzv. neparalelnú (sekvenčnú) časť kódu. Program začne vedúce vlákno, ktoré vykonáva sekvenčnú časť programu. Ďalej je pre paralelný úsek vedúce vlákno rozvetvené na skupinu vlákien, Obrázok 0-5. Je úlohou programátora zistiť a pomocou direktív označiť časti v kóde, ktoré sú vhodné pre paralelizáciu, miesta synchronizácie, vyhľadať miesto premenných v pamäti (zdieľanej, lokálnej), nastaviť vhodný počet vlákien, a iné. OpenMP týmto spôsobom môže byť použité aj pre dátový a aj pre funkčný paralelizmus.

Implementácia týchto programovacích modelov na gridoch je však veľmi ťažká z dôvodov súvisiacich najmä s rozdielnymi výpočtovými modelmi medzi globálnymi dátami. Modely založené na OpenMP vo všeobecnosti využívajú tesnejšie synchronizačné techniky medzi paralelnými aktivitami, ktoré nie je možné efektívne implementovať na vzdialených heterogénnych výpočtových uzloch [MTS+01]. Navyše, programy napísané pomocou OpenMP nebudú vykonávané paralelne v systémoch s distribuovanou pamäťou, čo obmedzuje prenositeľnosť kódu, ktorý používa OpenMP. Ďalším obmedzením je skutočnosť, že systémy so zdieľanou pamäťou, ktoré sú v súčasnosti k dispozícii, majú pomerne malý počet procesorov, čo obmedzuje dosiahnuteľné zrýchlenie [CG08].



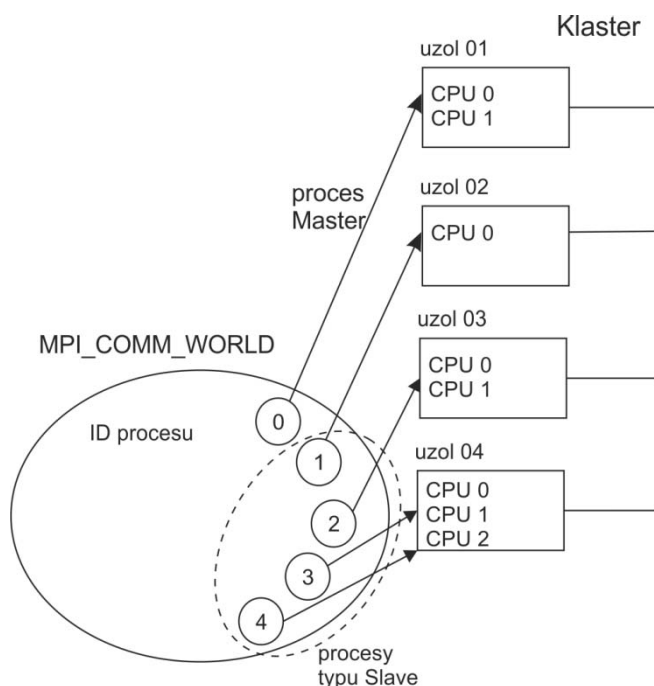
Obrázok 0-5 Rozvetvenie vedúceho vlákna na množstvo paralelných vlákien pre rozhranie OpenMP [HSS10a]



## Štandard MPI

Využitie systémov s distribuovanou pamäťou, akými sú napr. klastre, umožňuje iný spôsob paralelizácie pomocou zasielania správ a štandardu MPI. MPI (Message Passing Interface) je štandard používaný na výmenu správ medzi jednotlivými stovkami a až tisícami paralelne pracujúcimi uzlami pri tvorbe paralelných programov. Okrem point-to-point komunikácie podporuje využívanie kolektívnej komunikácie medzi uzlami, ako je vysielanie (broadcast), rozdelenie (scatter), zozbieranie (gather), či redukcia (reduction). Úlohou MPI rozhrania je poskytovať základnú virtuálnu topológiu, synchronizáciu a komunikáciu medzi množinou procesov. Používa sa zväčša pri počítačových klastroch (computer clusters), Obrázok 0-6.

V MPI je celý kód spúšťaný na každom uzle a podľa čísla uzlu je kontrolované, ktorá časť kódu sa má vykonať spolu s algoritmom, ktorý prácu rozdeľuje. Napr. pre model Master/Slaves je kontrolným a rozdeľujúcim uzlom práve uzol Master.



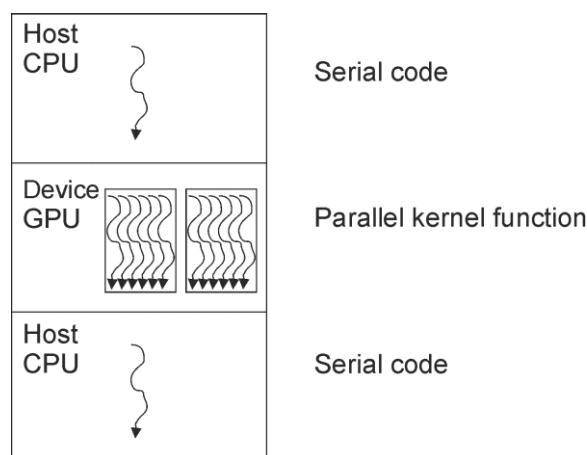
Obrázok 0-6 Master/Slaves model v MPI

Programátor zväčša delí kód programu na dve časti, jedna časť pre uzol typu Master a druhá pre uzly typu Slave, prípadne rozpozná, ktorá časť kódu je zhodná a nemusí byť zvlášť delená pre jednotlivé typy uzlov. Uzol typu Master, ako aj uzly typu Slave, vystupujú ako samostatné entity, pričom medzi sebou komunikujú prostredníctvom výmeny správ. Program napísaný pre MPI je ľahko prenositeľný medzi platformami s rôznymi implementáciami MPI štandardu bez potreby prepísania zdrojového kódu.

## Počítanie na grafických kartách

*GPGPU* (General-Purpose computing on Graphics Processing Units) je metóda zvyšujúca výpočtovú kapacitu spracovania programov pomocou grafických procesorov (GPU), ktoré sú inak bežne vykonávané prostredníctvom CPU. Uvedená danosť je

realizovateľná pridaním programovateľného rozšírenia pre GPU ako aj vývojových nástrojov a knižníc od dodávateľov [AMM+10]. Hostiteľský systém s kartou komunikuje prostredníctvom zápisu a čítania z/do hlavnej pamäte. Grafický čip je rozdelený do rady multiprocesorov, z ktorých každý obsahuje svoju cache pamäť, inštrukčnú jednotku rozdeľujúcu prácu medzi jednotlivé procesory a spoločnú zdieľanú pamäť pre všetky procesory v rámci multiprocesora. Táto architektúra má výhodu v škálovateľnosti, t. j. lacnejšie čipy obsahujúce menej multiprocesorov môžu byť z hľadiska softvéru popisované rovnako ako drahšie s viac multiprocesormi. Avšak nie každý algoritmus je vhodný pre spracovanie na GPU. Všeobecne možno povedať, že vhodné sú také algoritmy, ktoré spracúvajú veľké množstvo dát, pričom spracovanie jednotlivých dát môže do istej miery prebiehať paralelne.



Obrázok 0-7 Heterogénne programovanie v paralelnej počítačovej architektúre vyvinutej spoločnosťou NVIDIA s názvom CUDA [HSS10a]

### Gridová implementácia

Gridové počítanie je založené na myšlienke, že vedci môžu prekonať lokálne počítačové obmedzenia pomocou flexibilného zoskupenia procesorov prepojených vysoko výkonnou sieťou a tak vytvoriť distribuované paralelné prostredie pre výpočty.

Pri umiestňovaní úlohy do gridového prostredia je dôležité si uvedomiť, o aký druh paralelizmu sa jedná, a či nie sú dostupné aj iné vhodné prostriedky na realizáciu výpočtu. Navyše je potrebné si uvedomiť aj limity jednotlivých modelov, ako je škálovateľnosť modelu, či množstvo prenášaných dát, prípadne, či réžia potrebná na paralelizáciu úlohy neprevyšuje čas postačujúci na vykonanie samotného výpočtu sekvenčným prístupom [Val09].

Vykonanie nejakej aplikácie na gride vo všeobecnosti pozostáva z nasledujúcich krokov:

- 1) gridifikovanie – adaptovanie aplikácie na príslušné gridové prostredie,
- 2) získanie autentifikačných certifikátov,
- 3) získanie informácií o dostupných gridových prostriedkoch,
- 4) spustenie aplikácie – zaslanie požiadavky výpočtovému prostriedku, alebo plánovaču (resource broker), na vykonanie úlohy resp. prenosu údajov,



5) monitorovanie priebehu výpočtu resp. prenosu údajov [Vegee].

Najjednoduchší spôsob ako použiť gridové počítanie je zaslať úlohu jednému výpočtovému miestu v gride. Koncový používateľ predkladajúci úlohu interaguje s gridom pomocou počítača s používateľským rozhraním (UI). Zaslanie úlohy je realizované pomocou špeciálneho súboru napísaného v jazyku Job Description Language (JDL), kde sú opísané zdroje, ktoré sú nevyhnutné pre používateľovu prácu (napr. typ úlohy, parametre, počet požadovaných procesorov) a umiestnenie súborov potrebných pre výpočet. Výpočtová strana je prístupná pomocou gridového komponentu nazývaného Resource Broker (RB), ktorý má na starosti výber prostriedkov, ktoré najlepšie zodpovedajú požiadavkám koncového používateľa na realizáciu predloženej úlohy. Úloha je zaslaná na vybrané miesto, pričom koncový používateľ môže monitorovať stav úlohy z UI pomocou unikátneho identifikátora prideleného od RB. Keď je úloha dokončená, môžu byť výsledky práve pomocou daného unikátneho identifikátora získané koncovým používateľom.

Všeobecne platí, že v gridovom počítaní neexistuje žiadna univerzálna podpora pre OpenMP ani pre GPGPU aplikácie a pre ich vykonávanie je potrebné zapojenie špecializovaných zdrojov do gridu. Na druhej strane, gridové počítanie postavené na klastrovom MPI modeli umožňuje lepšiu škálovateľnosť, ako aj možnosť zvýšiť efektívnosť výpočtu a nevyžaduje žiadne špeciálne hardvérové vybavenie v gridovej infraštruktúre.

## **Súčasný stav v gridovom počítaní**

Gridové počítanie sa využíva už viac ako dve dekády a jeho výhody sú nemalé. Gridové systémy sú však neustále v procese vývoja. Ako bolo ukázané v texte, gridové prostredia majú na jednej strane svoje klady, ale na druhej strane aj určité obmedzenia.

Medzi podstatné výhody gridového počítania je možné zaradiť:

1. Využívanie výpočtových zdrojov bez nutnosti investovať do vlastných prostriedkov.
2. Efektívnejšie využívanie nevyužitých zdrojov v celom gridovom prostredí rôznych organizácií.
3. Spôsobilosť správy jednotlivých zdrojov v gridovom prostredí a to prostredníctvom prístupovej a bezpečnostnej politiky.
4. Gridové prostredie neobsahuje jeden jediný bod zlyhania (single point of failure). Ak zlyhá prístup k jednej množine zdrojov, stále je možné v gride pristupovať k ďalším zdrojom.
5. Jednoduchá škálovateľnosť systému. Zdroje sú do gridového prostredia pridávané a odoberané priebežne.
6. Úloha môže byť vykonávaná paralelne na viacerých uzloch, čo môže značne urýchliť priebeh výpočtu zložitých problémov.

Medzi nevýhody gridového počítania je možné zaradiť:

1. Efektívne výpočty požadujú dobrú konektivitu medzi jednotlivými výpočtovými uzlami (min. Gigabit Ethernet, ideálne Infiniband prepojenie).
2. Nutnosť modifikácie niektorých aplikácií, aby bolo možné ich využitie v gridovom prostredí.
3. Gridové štandardy a softvér sú stále vo vývoji.
4. Správa výpočtových zdrojov v rozsiahlych prostrediach, ktoré zastrešujú viaceré administratívne domény, je náročná, pričom je potrebné klásť dôraz na bezpečnosť.
5. Používateľ, ktorý úlohu zasiela, nemá kontrolu nad zdrojmi, na ktorých je úloha riešená.

### **Príklady aktuálnych gridových projektov**

Gridové počítanie ponúka spôsob, akým sa dá riešiť množstvo výpočtovo náročných úloh ako sú skladanie proteínov, finančné modelovanie, simulácia zemetrasenia, či modelovanie klímy či počasia a gridy umožňujú efektívnejšie využívať zdroje informačných technológií v rámci organizácií. Veľký vzostup zaznamenali gridy a projekty založené na gridovom počítaní v prvom desaťročí tohto storočia, kde bolo realizované obrovské množstvo národných a nadnárodných projektov s využívaním gridov. Nástupom cloudových technológií záujem o gridové technológie poklesol. Pre malé a stredné organizácie sa v prípade potreby jednorazového výpočtu oplatí viac investovať do krátko prenájmu cloudu na realizáciu výpočtu ako investovať prostriedky do udržiavania gridu.

Napriek tomu, gridové počítanie sa stále využíva a existuje množstvo úspešných veľkých projektov založených na gridoch. Zväčša sa jedná o veľké nadnárodné projekty, prípadne projekty so silným riešiteľom, čo však nevylučuje možnosť jednotlivcov zapojiť sa do takýchto projektov. Nižšie sú uvedené príklady niekoľkých aktuálnych úspešných projektov založených na gridových technológiách.

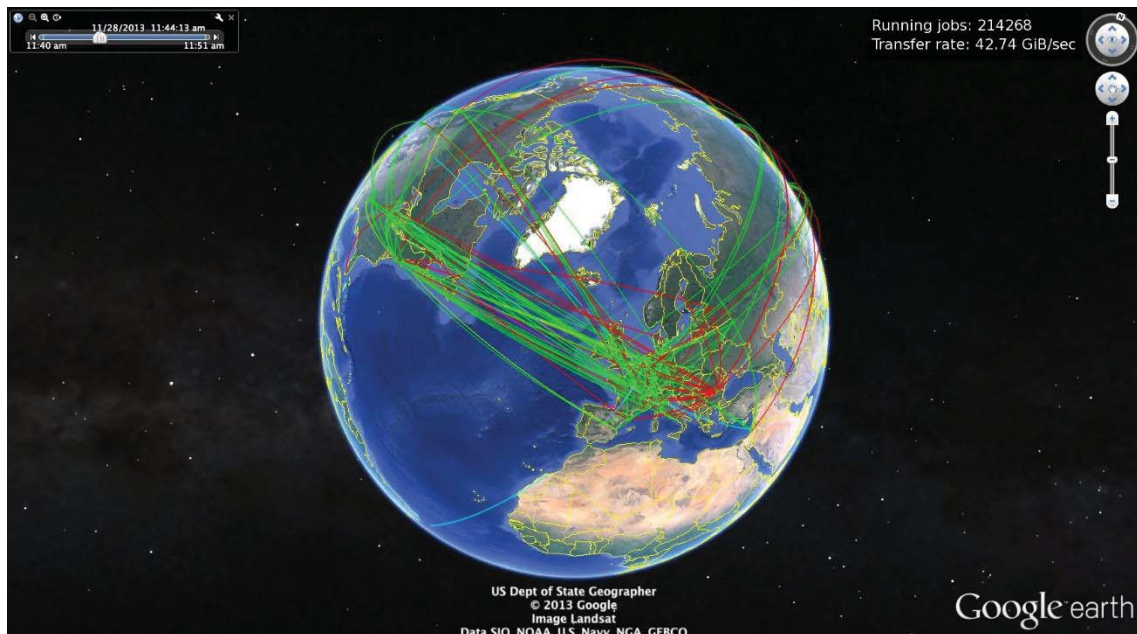
### **CERN Worldwide LHC Computing Grid**

Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) je globálna výpočtová infraštruktúra, ktorej poslaním je poskytovať výpočtové zdroje na ukladanie, distribúciu a analýzu údajov generovaných Veľkým hadronovým urýchľovačom (Large Hadron Collider – LHC), čím sa údaje sprístupnia všetkým partnerom bez ohľadu na ich fyzické umiestnenie.

WLCG je najväčší výpočtový grid na svete. Je podporovaný mnohými združenými národnými a medzinárodnými gridmi po celom svete, ako je napríklad Európska gridová iniciatíva (European Grid Initiative) a Open Science Grid (v USA), ako aj mnohé ďalšie regionálne gridy. WLCG koordinuje CERN. Je riadený a prevádzkovaný celosvetovou spoluprácou medzi experimentmi (ALICE, ATLAS, CMS a LHCb) a zúčastnenými počítačovými centrami.

Rozsah a zložitosť údajov z LHC sú unikátne. Tieto údaje musia byť uložené, ľahko vyhľadateľné a analyzovateľné fyzikmi na celom svete. To si vyžaduje masívne skladovacie zariadenia, globálne siete, obrovský výpočtový výkon a samozrejme financovanie. CERN nemá k dispozícii výpočtové ani finančné zdroje na to, aby všetky údaje na mieste spracoval, preto sa v roku 2002 zameril na grid a gridové počítanie, aby zdieľal záťaž s počítačovými centrami po celom svete. Výsledkom je celosvetový LHC Computing Grid (WLCG), ktorý je distribuovanou výpočtovou infraštruktúrou usporiadanou do vrstiev a poskytuje komunite s viac ako 17 000 fyzikmi prístup k LHC dátam v reálnom čase. WLCG kombinuje výpočtové zdroje približne 800 000 počítačových jadier z viac ako 170 lokalít v 42 krajinách, pričom produkuje masívnu distribuovanú výpočtovú infraštruktúru. Prevádzkuje viac ako 2 milióny úloh denne a za posledné dva roky celkovo prenos pravidelne prekračuje hodnotu 60 Gbit/s.<sup>37</sup> WLCG stavia na myšlienkach sieťovej technológie pôvodne navrhnutej v roku 1999 Ianom Fosterom a Carl Kesselmanom. Samotný CERN v súčasnosti poskytuje približne 20 % globálnych výpočtových zdrojov.

Vzhľadom na aktívne pristupovanie k dátam a ich analýzam v reálnom čase, výpočtový systém určený na spracovanie dát musí byť veľmi flexibilný. WLCG poskytuje prístup k výpočtovým zdrojom, čo predstavuje priestor pre ukladania dát, samotné spracovanie dát, senzory, vizualizačné nástroje a ďalšie komponenty. Výpočtový grid určuje identitu používateľov, kontroluje ich poverenia a vyhľadáva dostupné strany, ktoré môžu poskytnúť požadované zdroje. Používatelia sa nemusia zaoberať odkiaľ prichádzajú výpočtové zdroje – na požiadanie môžu využiť výpočtový výkon a prístup k úložisku.



Obrázok 0-8 Reálna prevádzka LHC gridu<sup>38</sup>.

<sup>37</sup> <https://home.cern/science/computing/grid>

<sup>38</sup> <http://wlcg.web.cern.ch/documents-reference>

Požiadavky na dáta a výpočtovú techniku budú počas nadchádzajúcich fáz WLCG v rokoch 2019-2025 dramaticky rásť, pričom sa očakáva nárast až 500 PB/rok. Očakáva sa, že potreby spracovania sa zvýšia viac ako desaťnásobne nad rámec toho, čo technologický vývoj poskytne. V dôsledku toho sú nevyhnutné partnerstvá, ako napríklad partnerstvá s CERN openlab a iné programy výskumu a vývoja, aby sa zistilo, ako by sa mohli vyvíjať počítačové modely na riešenie týchto potrieb. Výskumníci sa zameriavajú na čo najskoršie využitie umelej inteligencie v oblasti filtrovania a výberu údajov, preskúmanie samotnej gridovej distribuovanej infraštruktúry ako čo najlepšie využiť dostupné technológie a oportunistické zdroje (grid, cloud, HPC, dobrovoľníci, atď.), ako aj na zlepšenie výkonu softvéru na optimalizáciu celkového systému [CERN].

## NorduGrid

Projekt NorduGrid<sup>39</sup> bol založený v roku 2002 piatimi škandinávskymi univerzitami, ale práma ako partnerov aj vedecké inštitúcie z iných krajín. Jeho úlohou je vývoj a podpora stabilného, spoľahlivého a vysoko výkonného grid middlewaru ARC. Nordugrid sa zameriava na riešenie problémov fyziky vysokých energií, astrofyziky, bioinformatiky, klimatológie a ďalších.

Webové stránky projektu NorduGrid poskytujú prehľad o prístupných zdrojoch v rámci tzv. ARC Grid Monitoru<sup>40</sup>. Ako je možné vidieť aj na obrázku Obrázok 0-9, uvedená služba zobrazuje všetky výpočtové zdroje, ktoré sa registrujú do najvyššieho indexovacieho servisu ARC.

Zoznam je usporiadaný podľa anglického názvu príslušnej krajiny a v sekcii pre danú krajinu podľa názvu hlavného stroja daného zdroja (výpočtového klastra). Pre každý klaster sa uvádzajú nasledujúce parametre: názov, celkové množstvo procesorov, počet obsadených procesorov a tiež počet bežiacich a čakajúcich úloh jednak spustených cez grid ako aj lokálne. Zobrazené je aj relatívne využitie zdroja, zodpovedajúce počtu zaťažených CPU, pričom sivá úsečka zodpovedá počtu procesorov obsadených lokálnymi úlohami a zelená úsečka zodpovedá procesorom vykonávajúcim gridové úlohy. Rovnako je možné vidieť aj počet všetkých úloh čakajúcich v rade na danom zdroji, uvádzaný ako súčet gridových a lokálnych úloh, pričom kliknutím na prvé z čísel sa zobrazia podrobné informácie o všetkých gridových úlohách čakajúcich v rade.

Zoznam konkrétnych viac ako 9000 zapojených používateľov gridu je možné vidieť na stránke <http://www.nordugrid.org/monitor/allusers.php>

V súčasnosti prebieha projekt NorduGrid v úzkej spolupráci s projektom NeIC<sup>41</sup> (The Nordic e-Infrastructure Collaboration), ktorý zabezpečuje a uľahčuje spoluprácu v oblasti výskumnej a vedeckej infraštruktúry v severskom regióne a ktorého trvanie je naplánované až do roku 2050.

---

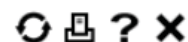
<sup>39</sup> <http://www.nordugrid.org>

<sup>40</sup> <http://www.nordugrid.org/monitor/loadmon.php>

<sup>41</sup> <https://neic.no/about/>

## ARC Grid Monitor

2019-05-27 UTC 07:19:11



Procesy: ■ Grid ■ Lokálne



Krajina	Zdroj	Počet CPU	Záťaž (procesy: Grid+lokálne)	Čakajúce
Alžírsko	DZ-01-ARN	0		0+0
Dánsko	Steno Tier 1 (DCSC/KU)	27760	468+9589	355+0
Fínsko	Alcyone (CMS)	892	373+12	1+0
	Alcyone (FGI)	892	0+376	2+0
	carpo (FGCI)	288	0+252	1+0
	dione (FGCI)	1680	0+0 (queue inactive)	0+0
	io (FGCI)	120	0+0	0+0
	kale (CMS)	2840	0+1918	0+0
	kale (FGCI)	2840	0+1938	0+0
	leda (FGCI)	1120	0+448	0+0
	narvi (FGCI)	5136	0+3864	0+0
	puck (FGCI)	192	0+0	0+0
	styx (FGCI)	152	12+0	0+0
	thebe (FGCI)	768	0+768	4+0
	titan (FGCI)	448	0+384	1+0
	triton (FGCI)	7352	0+5916	1+0
Kanada	lcg-ce1.sfu.computeca>	59784	522+47369	195+3183
	lcg-ce1.uw.computecan>	36964	506+28636	203+403
	lcg-ce2.sfu.computeca>	59784	680+47054	139+3240
	lcg-ce2.uw.computecan>	36964	504+28605	171+401
Nemecko	DESY-HH ARC CE	18680	2481+16119	672+0
	DESY-HH ARC CE	18680	2218+16337	776+0
	LRZ-C2PAP	4008	552+2512	0+0
	LRZ-LMU lcg-lrz-ce0	3616	2966+527	83+0
	LRZ-LMU lcg-lrz-ce3	3616	1766+1671	66+170
	MPPMU	65312	3872+52454	200+821
	MPPMU	4064	2951+172	306+0
	wuppertalprod	4100	1570+448	265+71959
Slovinsko	Arnes	4368	4281+8	491+0
	NSC	1984	1195+8	169+0
	ARC Cluster BITPEDU	4	0+0	0+0

Obrázok 0-9 Služba ARC Grid Monitor pre NorduGrid.

## World Community Grid

Okrem už vyššie spomenutého projektu SETI@home zameraného na hľadanie mimozemských civilizácií a využívajúceho softvér pre distribuované počítače BOINC, existujú na princípe *scavenging gridu* aj iné projekty zamerané na vedeckú komunitu. Zámerom BOINC je umožniť bádateľom rôznych odborov, ako napríklad molekulárna biológia, klimatológia, kryptografia alebo astrofyzika, jednoduchý prístup do výpočtovej siete osobných počítačov na celom svete s výsledným mohutným výpočtovým výkonom.



Jedným z takýchto projektov je *World Community Grid* (WCG)<sup>42</sup>. Snahou je vytvorenie najväčšej verejnej výpočtovej siete na svete, ktorá by riešila vedecko-výskumné projekty, ktoré prinášajú prospech celému ľudstvu. Začiatok projektu bol v roku 2004 pod koordináciou spoločnosti IBM, v roku 2005 prešiel na nástroj BOINC a v súčasnosti zahŕňa viac ako 650 000 aktívnych registrovaných používateľov a 460 organizácií, pričom umožňuje komukoľvek s počítačom, smartfónom alebo tabletom darovať svoj nevyužitý výpočtový výkon na podporu špičkového vedeckého výskumu. World Community Grid podporil doposiaľ 29 výskumných projektov, vrátane vyhľadávania efektívnejšej liečby rakoviny, HIV/AIDS, analýzy ľudského genómu, horúčky Dengue, svalovej dystrofie, rakoviny, chrípky, eboly, virtuálneho skríningu, výnosov ryže, filtrácie vody a čistej energie.

Využívaný nástroj BOINC pozostáva zo servera a klientov, ktorí spolu komunikujú pri distribúcii pracovných jednotiek. Každý klient potom jednu jednotku spracuje a vráti ju serveru, aby si neskôr vyžiadal ďalšie. BOINC len distribuuje pracovné jednotky a sám žiadnu vedeckú prácu nerobí. Vedecké výpočty sa vykonávajú na počítačoch používateľov a výsledky sú spracované až po tom, čo sú overené a presunuté z BOINC do vedeckej databázy.

Klient BOINC je malá aplikácia, ktorá spravuje prácu na počítačoch pripojených do projektov zvolených vlastníkom počítača. Klient zodpovedá za sťahovanie a odosielanie pracovných jednotiek a výsledkov z nich. Okrem toho je klient zodpovedný tiež za pridelenie času, ktorý počítač strávi pri výpočtoch pre jednotlivé projekty podľa nastavenia používateľa. Nastaviť je možné aj využitie prostriedkov daného počítača, t. j. procesora, operačnej pamäte a grafickej karty. Klient BOINC sa vyhýba spomaleniu počítača pomocou rôznych obmedzení, ktoré pozastavujú výpočet, keď nie sú k dispozícii dostatočné zdroje.

Projekt	Aplikace	Název	Čas	Průběh	Dokončeno za	Odezdát do	Stav
WUProp@Home	Data collect 1.40 (nc)	wu_1280862948_1...	09:15:04	77,241%	02:43:00	5.9.2010 12:22:18	Počítám (0,01 CPUe)
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_79...	02:42:03	100,000%	---	10.9.2010 9:49:56	Odeslán. Přípraven k ohlášení
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_79...	02:27:35	88,185%	00:19:46	10.9.2010 10:03:27	Počítám
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_80...	01:12:25	43,742%	01:33:12	10.9.2010 11:19:55	Počítám
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_80...	00:23:36	13,614%	02:28:02	10.9.2010 12:01:45	Počítám
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_80...	00:03:38	1,999%	02:47:43	10.9.2010 12:25:46	Počítám
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_80...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 12:41:22	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_81...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 14:02:41	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_81...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 14:49:38	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_82...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 15:15:40	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_82...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 15:29:58	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_82...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 17:28:34	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_83...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 18:19:20	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_83...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 18:41:38	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_83...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 19:00:12	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_83...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 20:12:32	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_84...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 21:04:42	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_84...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 21:24:01	Připraven
World Community Grid	Computing for Clean Water 6.13	c4cw_target01_84...	---	0,000%	02:50:41	10.9.2010 21:48:14	Připraven

Obrázok 0-10 Klient systému BOINC v projekte World Community Grid<sup>43</sup>.

<sup>42</sup> <https://www.worldcommunitygrid.org>

<sup>43</sup> [https://cs.wikipedia.org/wiki/Berkeley\\_Open\\_Infrastructure\\_for\\_Network\\_Computing](https://cs.wikipedia.org/wiki/Berkeley_Open_Infrastructure_for_Network_Computing)



Zaujímavosťou v projekte World Community Grid je udeľovanie odznakov za určitý počet hodín odpracovaných na konkrétnom podprojekte. Získanie odznaku teda môže byť motiváciou i pre účastníkov disponujúcim slabším hardvérom, keďže pri ohodnotení podľa času stráveného na projekte sa stierajú rozdiely medzi výkonnými a slabšími počítačmi. Navyše sa ukazuje, že súbežne stovky tisíc počítačov urýchľujú výpočty viac ako jediný superpočítač. World Community Grid poskytuje vedcom 24/7 prístup k dostatočnému výpočtovému výkonu, ktorý zodpovedá niektorým z najvýkonnejších superpočítačov na svete. Na rozdiel od tradičného superpočítača je výpočet distribuovaný na tisíce počítačov medzi rôzne geograficky umiestnených používateľov. Pre výskumných partnerov to znamená, že nemusia čakať v rade na výpočtové zdroje, ako by to bolo pri väčšine superpočítačov vo vedeckých inštitúciách. Namiesto toho dostávajú voľný prístup k masívnemu množstvu výpočtového výkonu a zároveň zapájajú verejnosť do svojho výskumu [WCG].

Obdobným projektom je projekt Folding@home<sup>44</sup> pre výskum chorôb, ktorý simuluje skladanie proteínov, návrh výpočtových liekov a iné typy molekulárnej dynamiky.

---

<sup>44</sup> <https://foldingathome.org>