

## Úvod

Kozmické žiarenie sú častice, ktoré prichádzajú z vesmíru na povrch Zeme. Predtým ako dosiahnu povrch Zeme prechádzajú medzihviezdny priestorom a heliosférou, následne cez magnetosféru Zeme a potom cez jej atmosféru. Softvérový rámec COR sprostredkúva prístup verejnosti k výpočtom trajektórií týchto častíc v magnetosfére cez webovú stránku.

V systéme je možné počítať trajektórie z vertikálneho smeru príchodu alebo z nevertikálnych smerov rovnomerne pokrývajúcich povrch polgule zo stredom v skúšanom bode. Podporované typy výpočtov sú:

- Standardný - umožňujúci výpočty pre roky 1968 až 2015 podľa výberu modelu externého geomagnetického poľa Tsyganenko 96 (1968-1995) alebo Tsyganenko 05 (1995-2015).
- Historický - umožňujúci výpočty pre roky 0 až 1968.
- Výpočet len dolných odrezávacích rigidít - simulácia pri ktorej sa výpočet každého smeru zastaví po prvej nájdennej dovolenej trajektórii. V rovnakom časovom rozsahu ako štandardný typ.
- Vizualizácia trajektórie častice so zadanou energiou a smerom príchodu. V rovnakom časovom rozsahu ako štandardný typ.

## Opis softvérovej architektúry systému

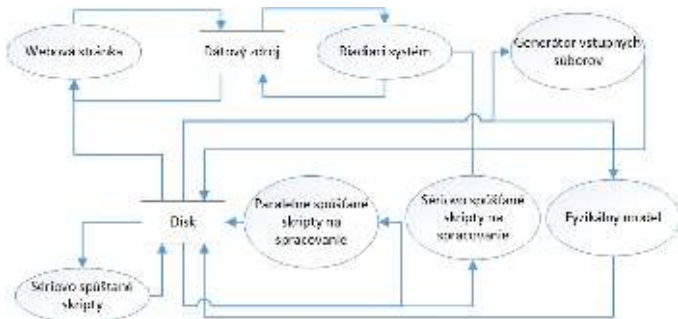


Fig. 1: Diagram dátových prívodov v systéme COR

### Webová stránka

Webová stránka je z hľadiska funkčnosti systému nepovinný modul, ktorý slúži na prístup verejnosti k fyzikálnym modelom systému COR. Neregistrovaným používateľom je ponúknutý prístup k modelom nenáročným na výpočtový výkon. Registrovaní používatelia sú nepriviligovaní alebo priviligovaní. Všetci registrovaní používatelia majú prístup k zadávaniu výpočtov vertikálnych aj viacsmerových simulácií príchodu častíc, ale priviligovaní používatelia navyše môžu zadávať várky výpočtov pre časový interval určenej počtom hodín.

Administrátor dokáže meniť privilégia registrovaných používateľov, alebo ich účet aktivovať/deaktivovať. Používateľ ktorého účet nie je aktivovaný sa nedokáže prihlásiť a teda ani zadávať časovo náročné výpočty. Modul webovej stránky číta a zapisuje dáta o výpočtoch z a do databázového systému. Tiež číta výsledky výpočtov z pevného disku. Tento modul priamo na pevný disk dáta nezapisuje.

### Riadiaci systém

Riadiaci systém slúži na spracovanie výpočtov zadaných v dátovom zdroji, ktoré ešte neboli vypočítané. Ako dátový zdroj môže byť použitá MySQL databáza, súbor alebo HTTPS REST rozhranie.

Po načítaní vstupných dát tieto v správnom formáte odovzdá podprogramu na generovanie vstupných dát pre fyzikálny model. Po vytvorení vstupných súborov sú paralelne spúšťané samotné výpočty s parametrom odkazujúcim na správny vstupný súbor.

Po dokončení všetkých výpočtov simulácie je na výstupných súboroch spustený proces spracovania výstupných dát fyzikálnej simulácie. Programy, ktoré majú spracovanie na starosti sú konfigurovateľné a ich funkciou je vytvoriť nové užitočné dáta z výpočtov a vytvorenie vizualizácií. Spracovanie prebieha v troch fázach. Najprv sú sériovo spustené programy pri ktorých záleží na poradí v ktorom budú vykonané (výstup jedného je vstupom iného). Ďalej sú paralelne spúšťané programy pri ktorých na poradí ich vykonania nezáleží. Nakoniec je sériovo spustená ešte jedna várka programov, ktoré sa starajú o konečné spracovania, typicky len vytvorenie archívu, ktorý bude používateľovi prístupný na stiahnutie cez webovú stránku.

## Optimalizácia času výpočtu viacsmerových simulácií

Úroveň optimalizácie	Plný model	Model dolnej odrezávacej rigidity	Optimálne trvanie
Ziadna	16:25	9:49	6:36
Prvá	08:30	2:07	6:23
Druhá	11:15	4:45	6:30

Fig. 2: Tabuľka trvania simulácií pre plný model a model na výpočet dolnej odrezávacej rigidity a odvodené optimálne trvanie.

Hlavným prínosom diplomovej práce je optimalizácia času výpočtu viacsmerových simulácií. V tabuľke 2 sú dĺžky časov výpočtov pre výpočtový stroj s 32 paralelnými jednotkami pre výpočty pre poučiu zo strednou zemepisnou šírkou stredných zemepisných šířkach. V modeloch bez optimalizácie sú počítačové rigidity stále 0.01 GV. Pri výpočte v plnom modeli je konečná rigidita 100 GV, pri modeli dolnej odrezávacej rigidity je konečnou hodnotou rigidity prvá, ktorej trajektória je povolená. Všetky výpočty od počítačovej rigidity až po dolnú odrezávaciu sú zbytočné, keďže všetky trajektórie pod touto hodnotou sú určite zakázané. Odčítaním dĺžky trvania výpočtu v modeli dolnej odrezávacej rigidity od výpočtu v plnom modeli vieme zistiť teoretickú optimálnu dĺžku trvania výpočtu na danom počítači.

V optimalizovaných modeloch je počítačová rigidita určená výpočtom podľa aproximácie z testovacích výpočtov. Na určenie aproximácie boli zvolené dve taktiky. Prvá spočívala vo výpočte dolných odrezávacích rigidít v poludňovníkovom pásce, kde sú dolné odrezávacie rigidity najnižšie a vytvorenie aproximácie, ktorá by v závislosti na vstupnej zemepisnej šírke vypočítala hodnotu rigidity, ktorá je nižšia ako dolná odrezávacia rigidita.

Druhá taktika spočívala vo výpočte ôsmich poludňovníkových pásov a nájdení aproximácie matematickej funkcie, ktorá by v závislosti na vstupnej zemepisnej šírke a dĺžke určila rigiditu aproximujúcu dolnú odrezávacia rigiditu na danom mieste.

Ako vidíme v tabuľke, pre tento výpočet bola najoptimálnejšia prvá optimalizácia ktorej trvanie bolo len o dve hodiny dlhšie ako optimálne trvanie.

## Vizualizácia trajektórie častice kozmického žiarenia

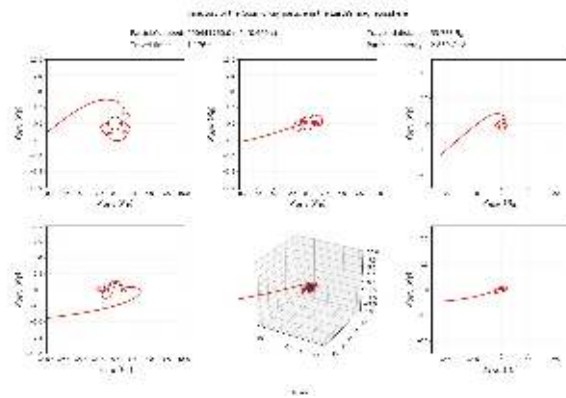


Fig. 3: Vizualizácia trajektórie častice kozmického žiarenia

Vizualizácia nám dáva informáciu o tom ako daná trajektória vyzerá, ale aj o tom či je trajektória pre časticu s danou rigiditou/energiou dovolená alebo zakázaná. Na obrázku 3 vidíme, priemety trajektórie kozmického žiarenia prechádzajúcej magnetosférou do rovín síradnicovej sústavy GSM (geocentric solar magnetic). Ako príklad je ukázaná trajektória protónu s energiou 2.859 GeV (rigiditou 3.68 GV) prichádzajúcu na pozíciu s geografickou šírkou 50° a geografickou dĺžkou 0°, prichádzajúcu zo smeru zo zenitovým uhlom 10° a azimutálnym uhlom 70°. Z obrázku vidíme, že trajektória častice je dovolená pretože spája povrch Zeme s bodom úniku na magnetopauze.

Vzhľadom na to že rigidita je relatívne nízka, trajektória má komplikovaný krivkový tvar. Trajektórie z vyššou energiou budú mať priamejší priebeh.

## Vizualizácia smeru príchodov častíc a ich intenzít

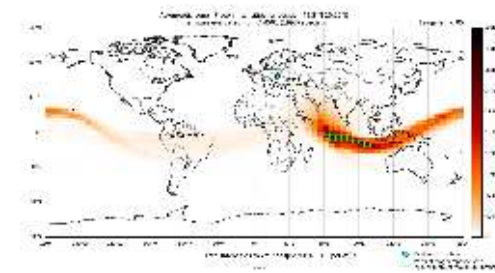


Fig. 4: Vizualizácia smeru príchodov častíc a ich intenzít

Tento obrázok poskytuje informácie o tom z akých smerov prišla väčšina častíc, ktorá dopadá na povrch atmosféry nad simulovaným bodom. Ukazuje takzvaný prímový kužeľ častíc kozmického žiarenia. Na obrázku je uvedená aj hodnota počtu protónov, ktoré dopadli na daný bod.

## Vizualizácia spektier odrezávacích rigidít pre daný smer

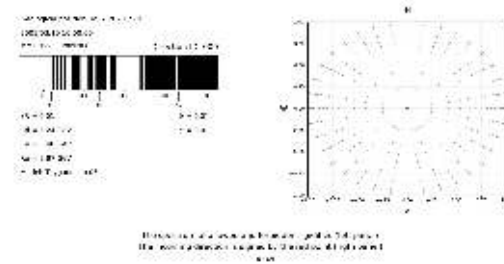


Fig. 5: Katalogová stránka pre časticu s parametrami uvedeným na obrázku

Pre každý smer príchodu je vytvorená jedna vizualizácia, pri simuláciách kde je počítaných viac smerov príchodu je takto vytvorený katalóg. Konkrétne, častice prichádzajúce zo všetkých smerov sú aproximované 576 smerní príchodov spájajúcich rovnomerne rozdelené body na povrchu gule so stredom gule. Každý smer reprezentuje priestorový uhol  $2\pi/576$ . Na vizualizácii sú zobrazené informácie o polohe bodu kde trajektória smerujú, o polohe smeru z ktorého trajektória prichádza a hodnoty dolnej hornej a strednej odrezávacej rigidity.

## Zhrnutie

Magnetosféra pôsobí ako obrovský filter častíc prichádzajúcich izotropne z okolitého priestoru, ktorý v dôsledku pôsobenia magnetického poľa na nabitú časticu spôsobuje že na rôznych miestach v magnetosfére dopadá rôzny počet častíc z rôznych smerov. COR model umožňuje vypočítať počet, energie a smery častíc dopadajúcich na vybrané miesto v magnetosfére. Toto dosahuje simuláciou trajektórií častíc v magnetosfére. Diplomová práca sa zaoberala optimalizáciou času výpočtov a pridaním nových fyzikálnych modelov a vizualizácií výpočtov do systému COR.