



# Prostředí pro simulaci rozsáhlých sítí odborných míst v energetice

Filip Procházka  
Mycroft Mind  
[filip.prochazka@mycroftmind.com](mailto:filip.prochazka@mycroftmind.com)

---

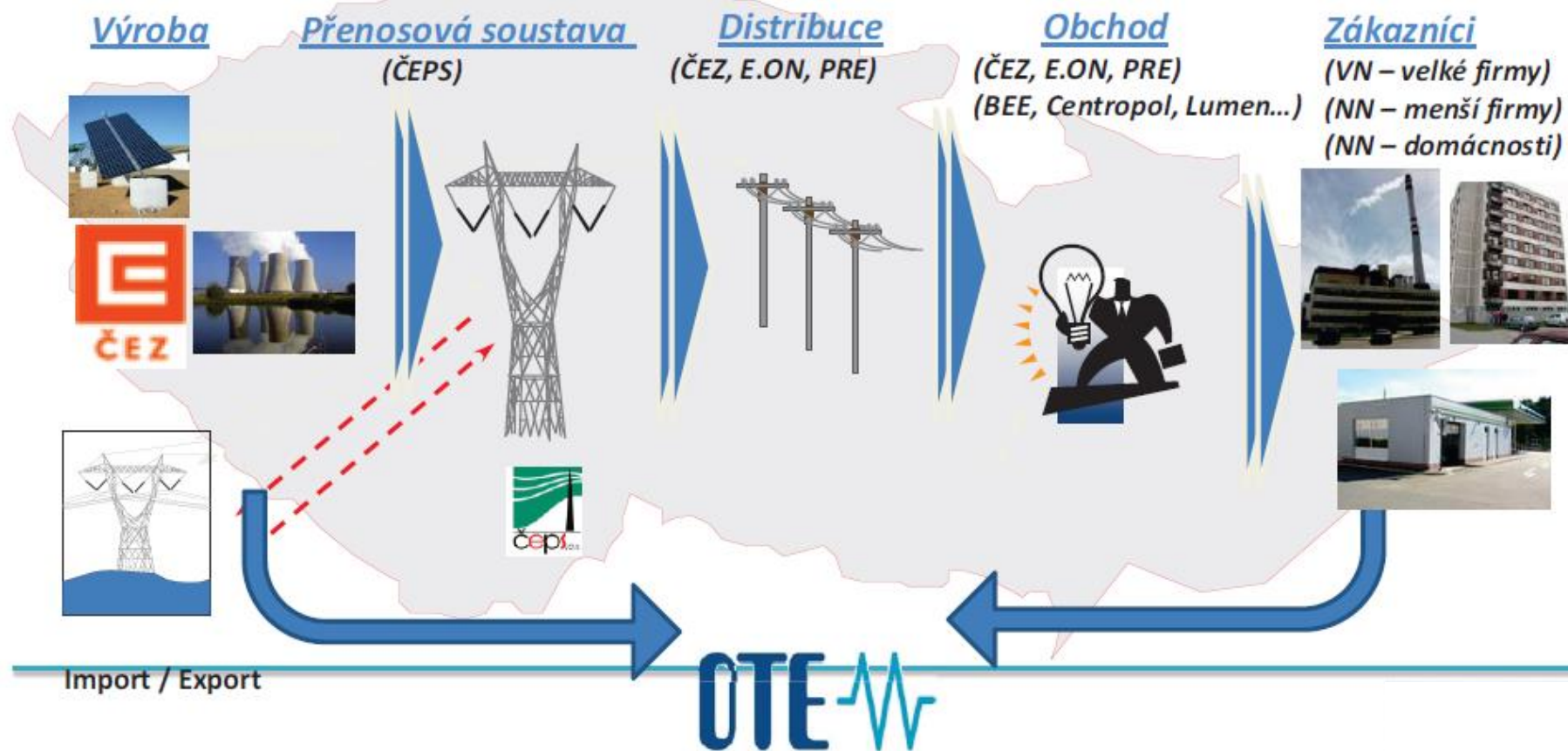


## → Mycroft Mind introduction

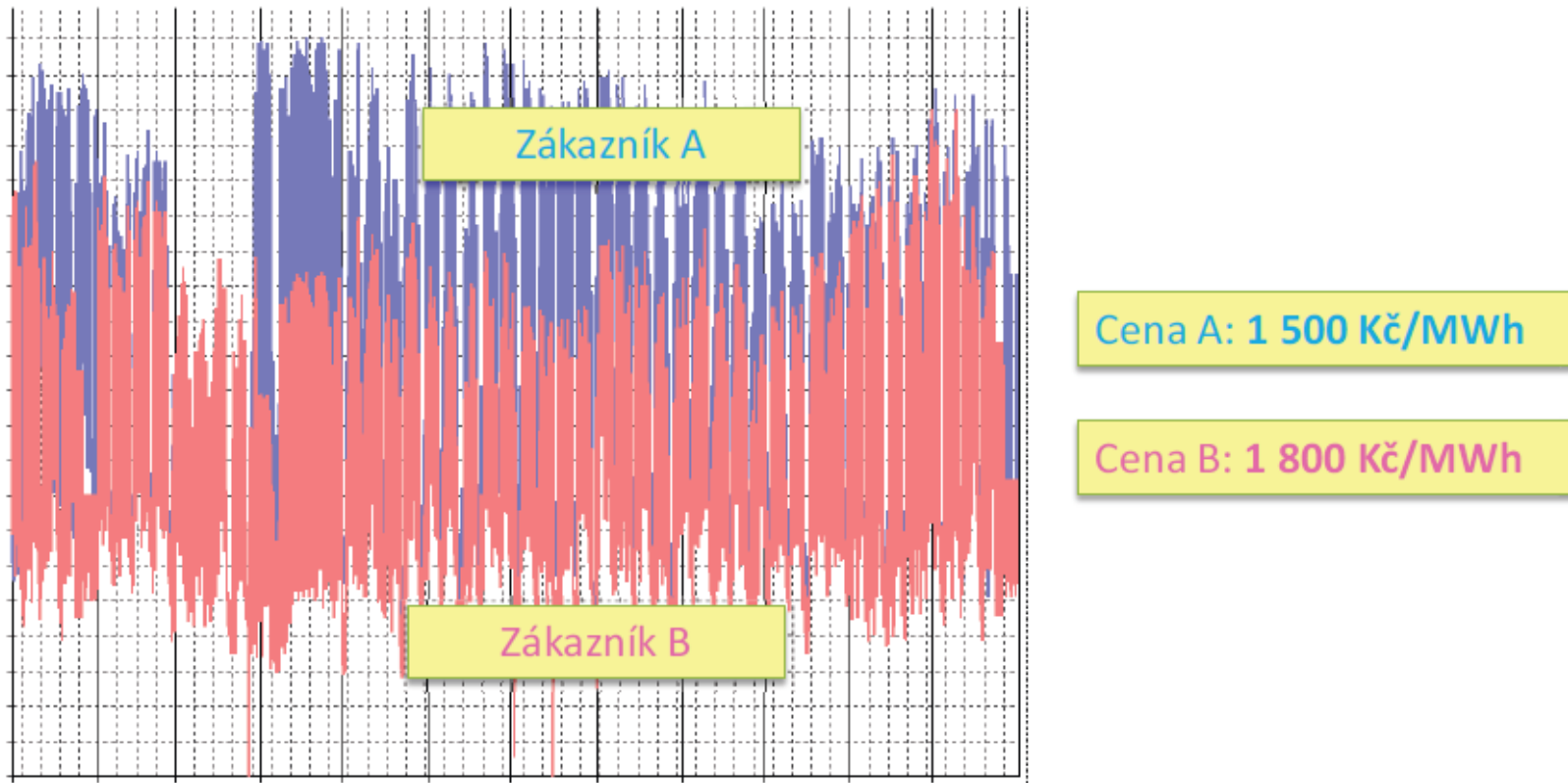
- Company founded at 2007
- Specialized in Complex Event Processing (CEP) technology and its applications like
  - smart grids
  - fraud detection
  - sensor networks
- Closely cooperates with research institutions in Brno



# Trh s elektřinou je relativně jednoduchý ...



# Příklad vlivu diagramu na cenu dodávky ee zákazníkovi



Cena A: 1 500 Kč/MWh

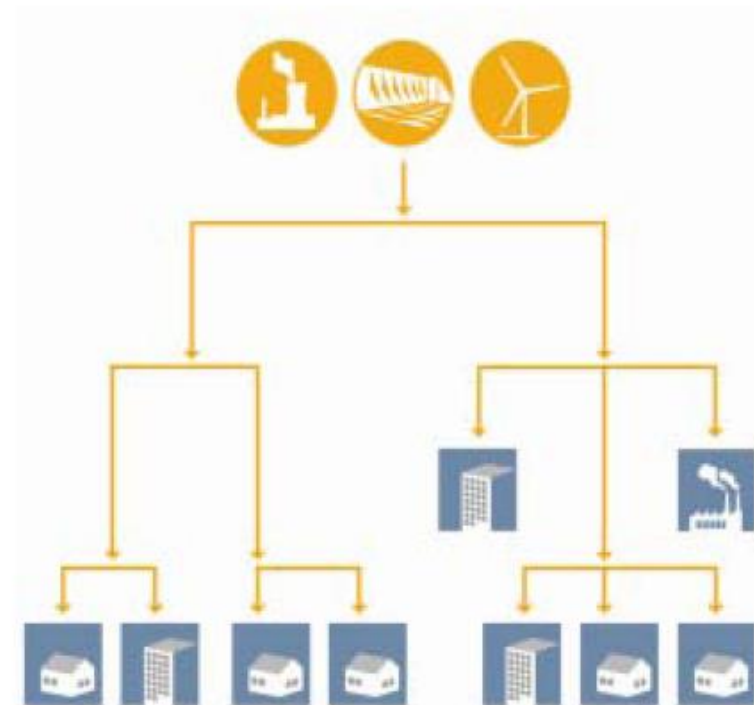
Cena B: 1 800 Kč/MWh

## → Změny v energetice

- Změna paradigmatu
    - od centralizované soustavy s jednosměrným tokem od velkých zdrojů energie k
    - decentralizované soustavě s distribuovanými zdroji a obousměrnými toky
  - Pro
    - vyšší odolnost soustavy
    - snížení závislosti na ropě a plynu
    - zapojování obnovitelných zdrojů energie
    - úspornost a efektivita
-

## Od tradiční sítě...

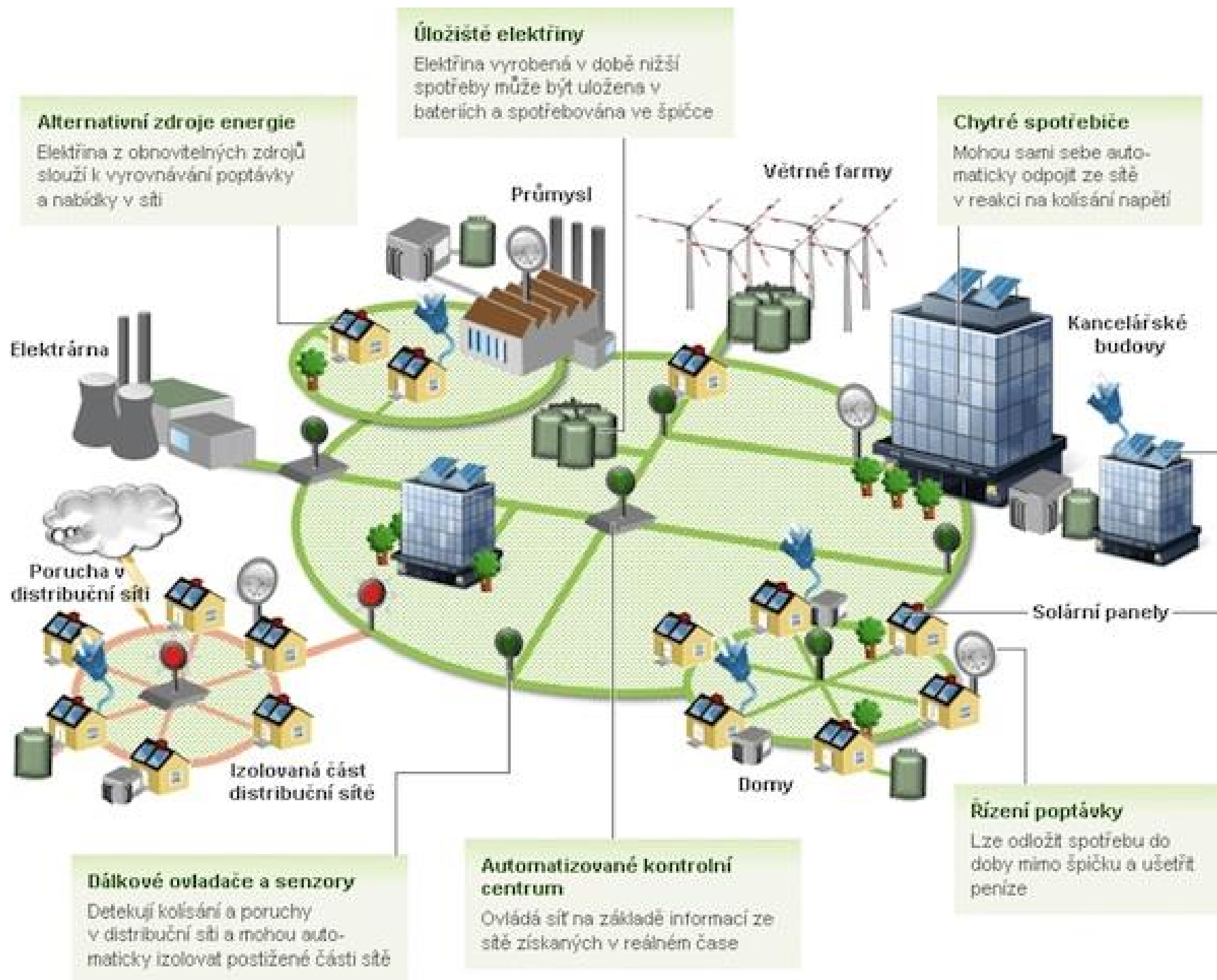
- Centrální výroba
- Jednosměrný tok výkonu
- Výroba sleduje poptávku
- Řízení a plánování „shora – dolů“
- S omezeným zapojení odběratelů
- Řízení a plánování především na základě historických zkušeností
- Minimální podpora dynamického obchodování



## ... k síti dneška a zítřka

- Centrální i distribuovaná výroba
- Přerušovaná a těžko predikovatelná výroba v OZE
- Obousměrný tok výkonu
- Spotřeba sleduje (do jisté míry) výrobu
- Spotřeba je nedílnou součástí operativního řízení
- Řízení a plánování především na základě real-time informací
- S oddělenými procesy obchodování





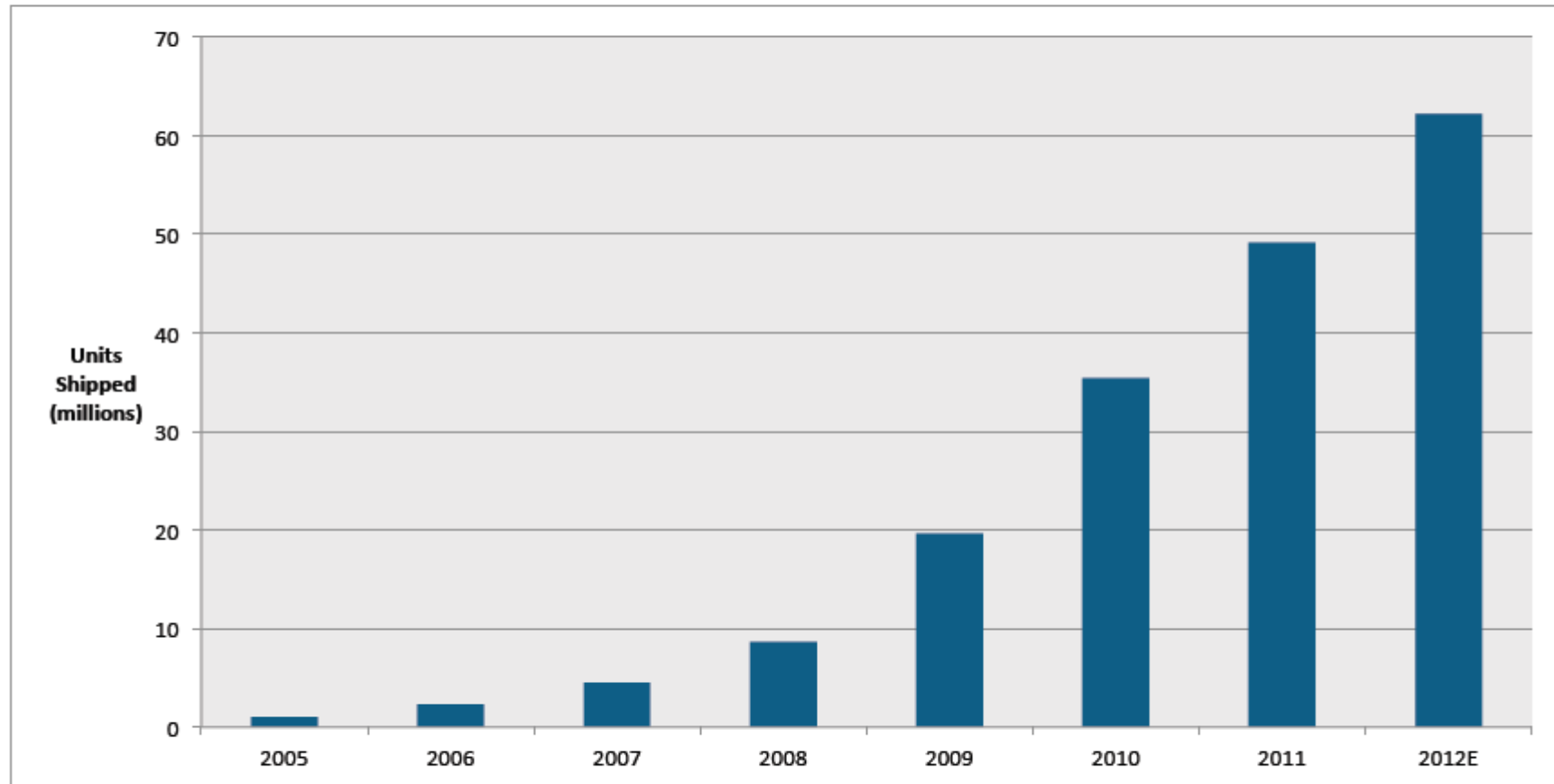


## → Bez měření není řízení . smart meter

- správný rozsah měření %
- instalován místo klasického elektroměru
- měří spotřebu odběrného místa . typicky v 15 minutových intervalech
- měří kvalitu dodávky
- detekuje události (otevření krytu, ...)
- data odesílá do datového koncentrátoru typicky pomocí PLC, GPRS, BPL, ...
- dovede přijímat příkazy (omezení spotřeby na danou mez, odpoj odběrné místo ...)



## Cumulative Shipments of Smart Meters - North America

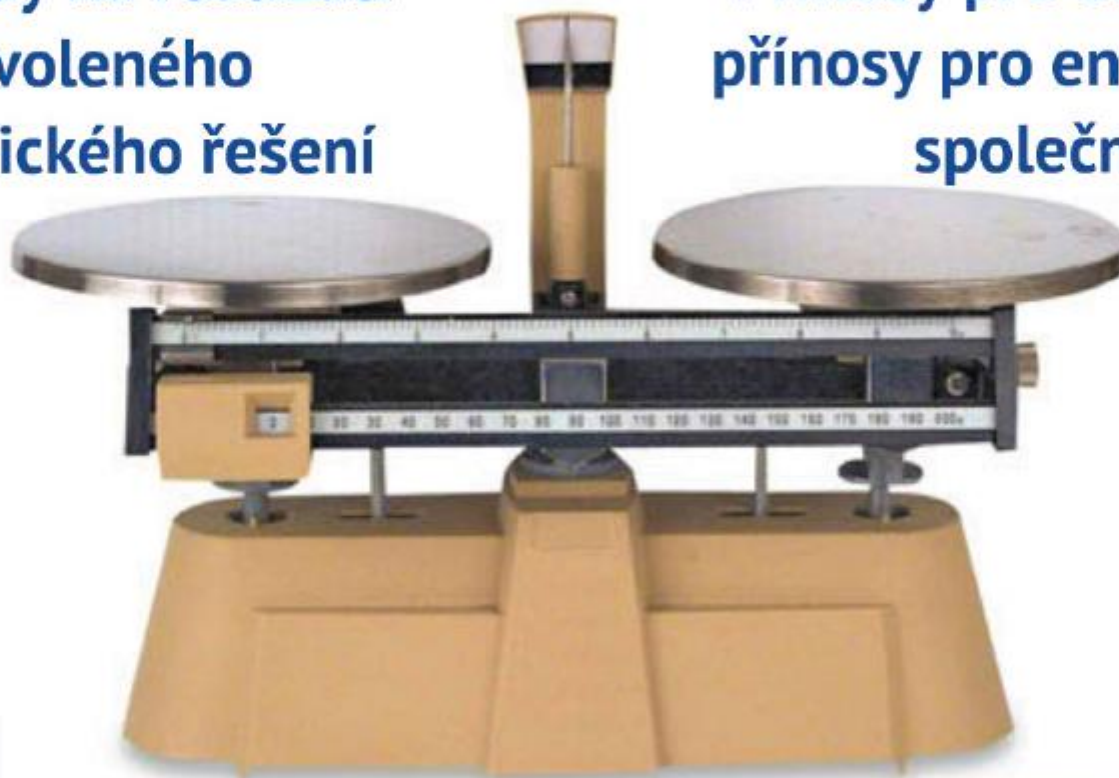


- Smart meters have become the most widely distributed sensors and have the potential to serve as key assets in improving distribution operations

# Zavedení Smart Meteringu v ČR

Náklady na realizaci  
zvoleného  
technického řešení

Přínosy pro odběratele,  
přínosy pro energetickou  
společnost

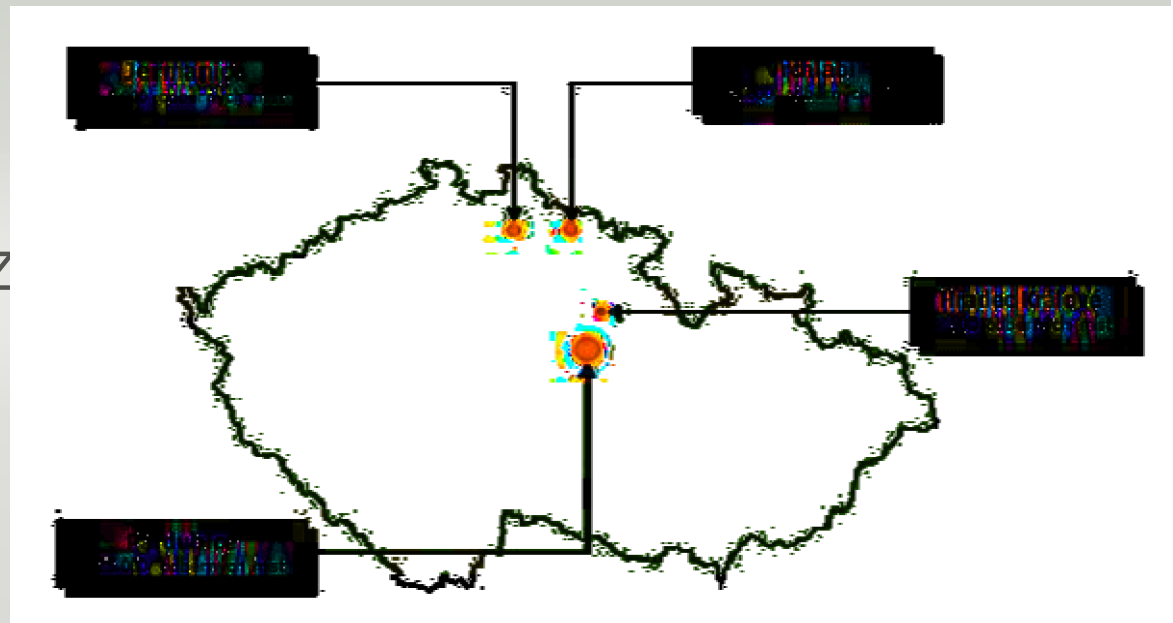


Náklady na standardní technické řešení - cca 50 mld. Kč \*

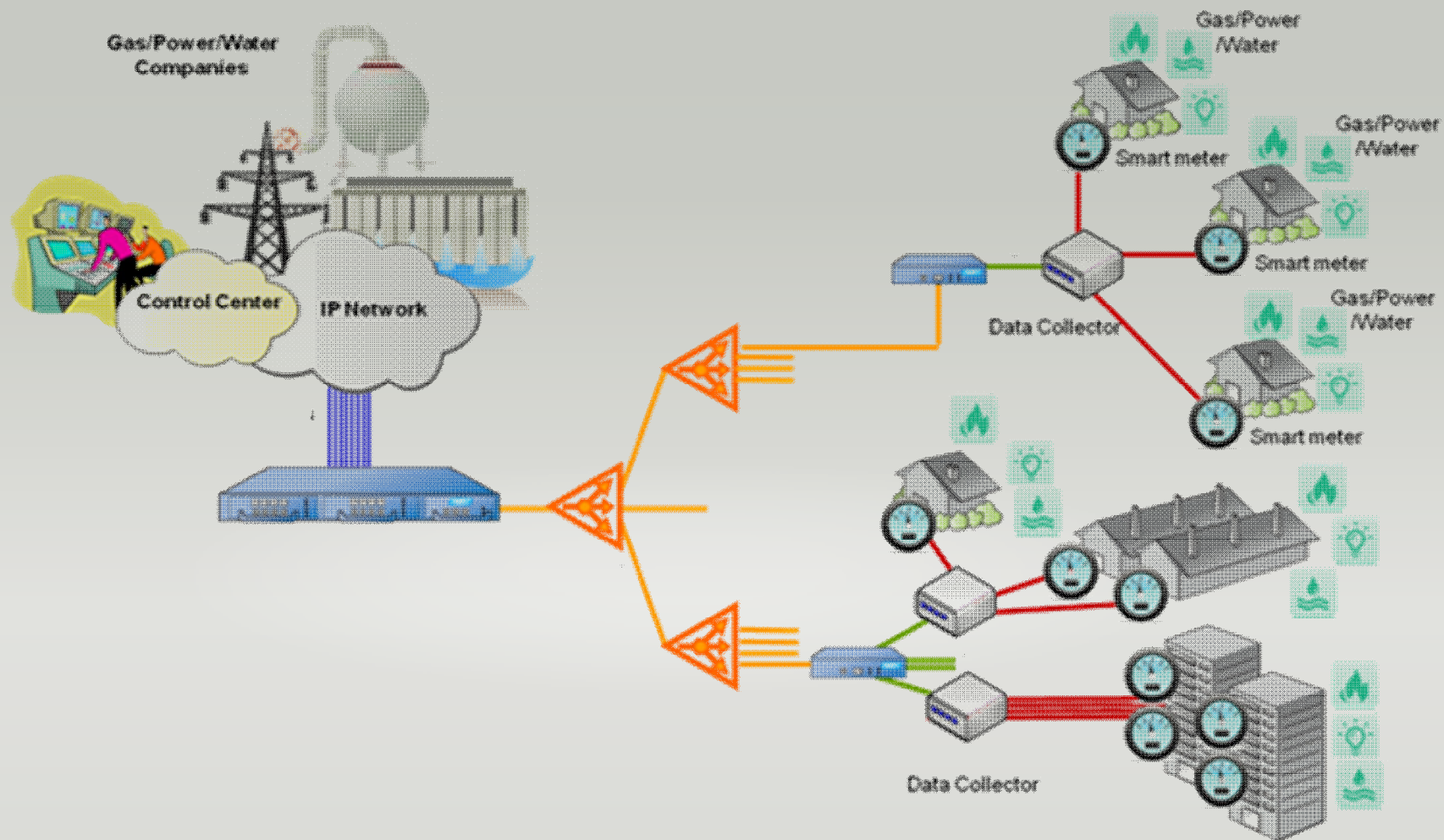
\* Zdroj: MPO 2012

## Projekt WPP AMM realizovaný skupinou EZ

- Trvání projektu: 2010 - 2013
- Instalace cca 35.000 smart meter ve čtyřech odlišných lokalitách
- 5 typ smart-meter
- 3 různé datové centrály
- integrace se systémy EZ



# ➔ Jak se smart metery komunikovat



## → Výsledky pilotního provozu

- v rámci reálného nasazení 35.000 smart meter bylo identifikováno několik alternativních přístupů (vícestupňové, push / pull protokoly, technologie datových koncentrátorů, technologie datových centrál)
  - dále bylo prověřeno chování celého systému a identifikovány poruchy, problémy a mezní situace
  - je prověřeno jak se bude chovat systém zpracovávající 35.000 smart meter
-

## → ť a te doopravdy

- 3.500.000 odb rných mřt v sřti EZ
  - x 96 m enř ka0dř den
  - x 365 dnř
  - ť ť ť ť ť ť ť ť ť ť ť ť ť ...
  - 122.640.000.000 ka0dř rok
-

Jak se navržený systém bude  
chovat p i plném nasazení:  
3.500.000 smart meter ?

Zkusme to nasimulovat!



1. Kde vzít výpočetní infrastrukturu pro takovýto test?
2. Jak simulovat chování 3.500.000 smart meter ?
3. Jak monitorovat a vyhodnotit chování celého systému a i jednotlivých testovacích scénářích?

- P vodní p edstava o simula ních testech WPP AMM
    - jednorázový test na pronajaté infrastruktu e (Amazon, Indie, ò )
  - Návrh Mycroft Mind a Masarykovy Univerzity
    - opakovan pou0itelné, rozvíjející se simula ní prost edí na akademické infrastruktu e
    - zapojení student do dalzího rozvoje a výzkumu
-

## ➔ Přínosy simulace a testování

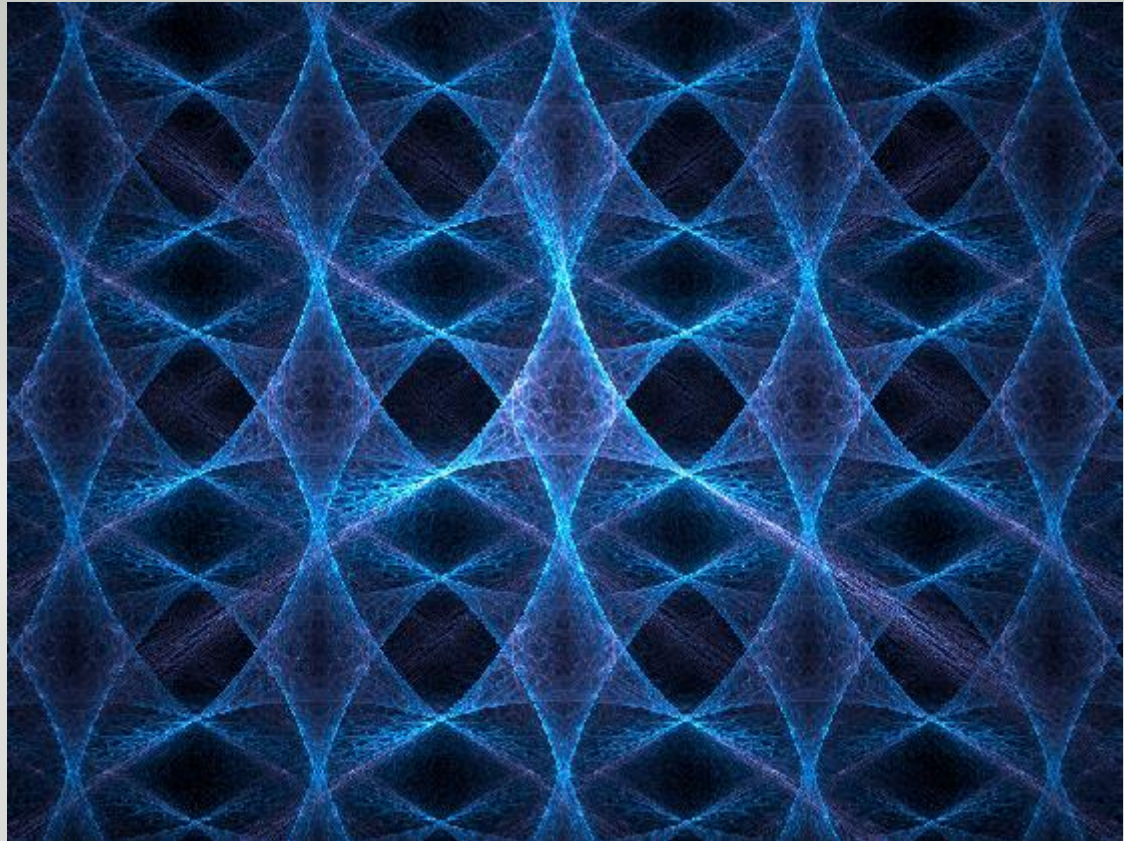
- ➔ otestovat si chování rozsáhlého systému s cílem identifikovat úzká místa
  - ➔ vyzkoušet si alternativní řešení a konfigurace
  - ➔ provést nové technologie (např. in-memory database)
  - ➔ zjistit si potřebnou kapacitu výrobní infrastruktury pro požadovaný rozsah řešení
  - ➔ ověřit chování systému při mezních situacích (rozsáhlejší výpadky, atd.)
  - ➔ porovnat si marketing a realitu
-

## → Rámec testu

- Z pilotního provozu 35k smart meter odvodit předpokládanou topologii a chování v této síti odbořených míst. 100k, 3500k
  - Zprovoznit IT infrastrukturu, do které lze umístit datové centrály v konfiguraci navržené dodavatelem dimenzované pro 3500k smart meter
  - Simulovat chování sítí 100k a 3500k smart meter a zpracovávat zasílaná data
  - V průběhu testu sbírat data o vytížení IT infrastruktury a jednotlivých komponent testovaných systémů
-

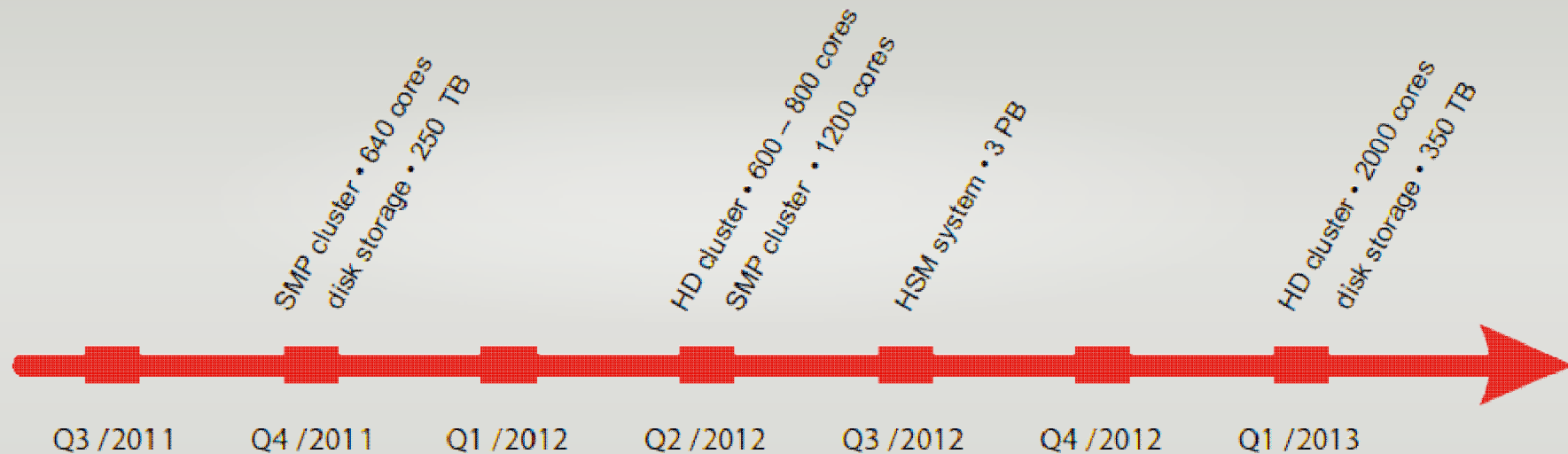


# Infrastruktura





- sou část národní e-infrastruktury - systému vzájemně propojených síťových, výpočetních a úložných kapacit a souvisejících služeb
- výzkum v oblasti rozsáhlých výpočetních kapacit



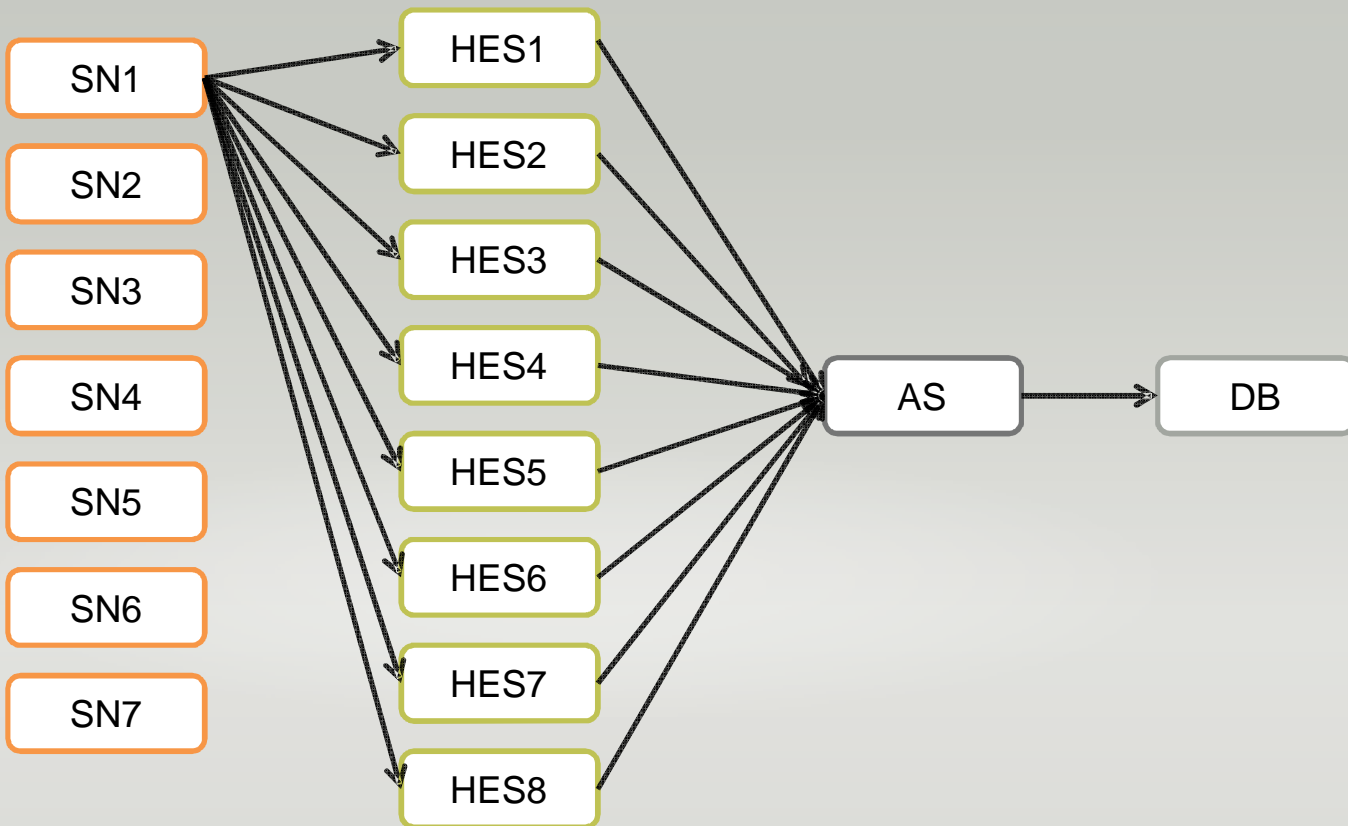
## ➔ Prostředí na Cerit-SC

- ➔ SMP clustery (uzel 80 jader, 512 GB RAM)
- ➔ HD clustery (uzel:12 jader, 96GB RAM)
- ➔ propojení uzl : ethernet  
10 Gbit/s a 1Gbit/s,  
Infiniband 40Gbit/s
- ➔ virtualizované prostředí . KVM
- ➔ správce cloudu . Open Nebula
- ➔ virtuální servery Windows i Linux



# → Infrastruktura pro test 3500k

Monitorovací server  
(Linux, virtual)



Simulační servery  
(Linux, virtual)

HES servery  
(Windows, virtual)

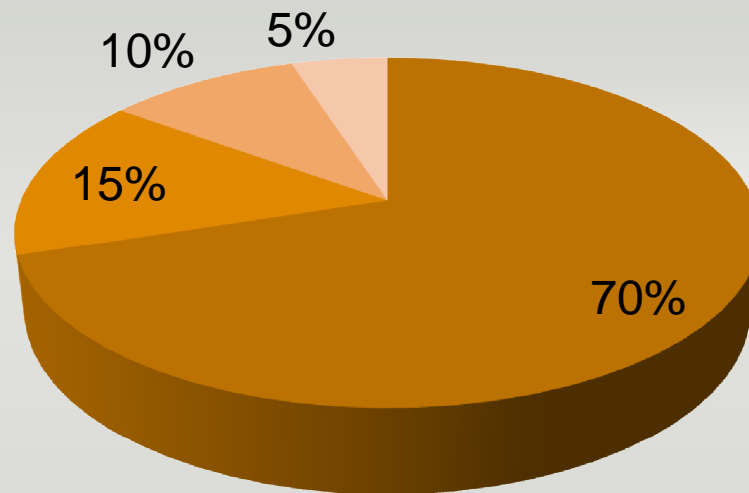
Aplikační server  
(Linux, virtual)

Databázový server  
(Linux, fyzický)



## ➔ Traffic shaper

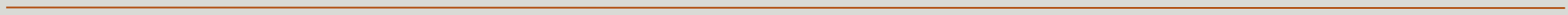
- ➔ na každém simulacním uzlu
- ➔ každý pro každý simulacní uzel
  - ➔ packet loss
  - ➔ latency



- Latence do 800ms, packet loss 1%
- Latence do 1.2s, packet loss 15%
- Latence do 1.5s, packet loss 30%
- Latence do 2s, packet loss 40%

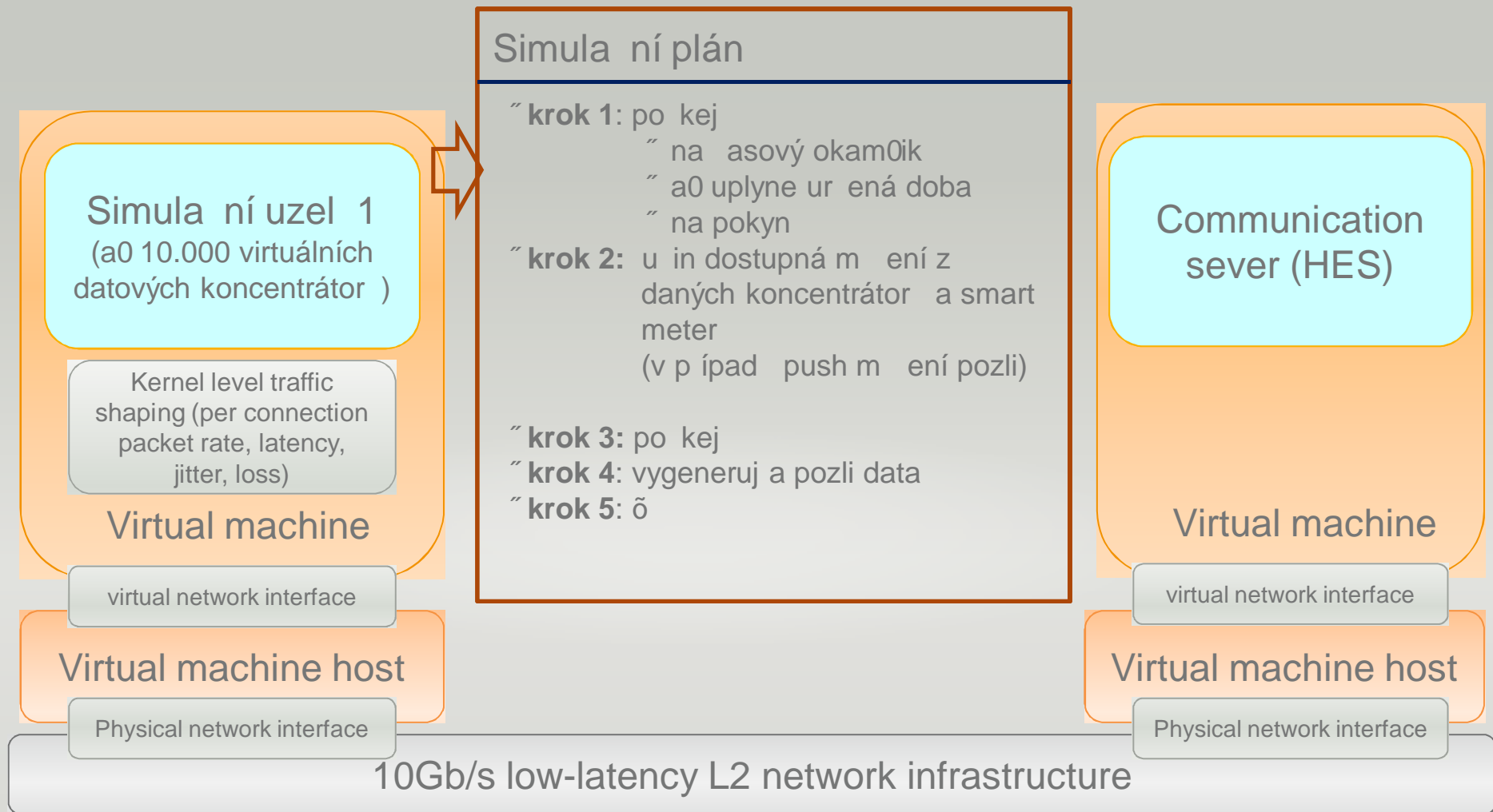


# Simulátor sítí odbočných míst



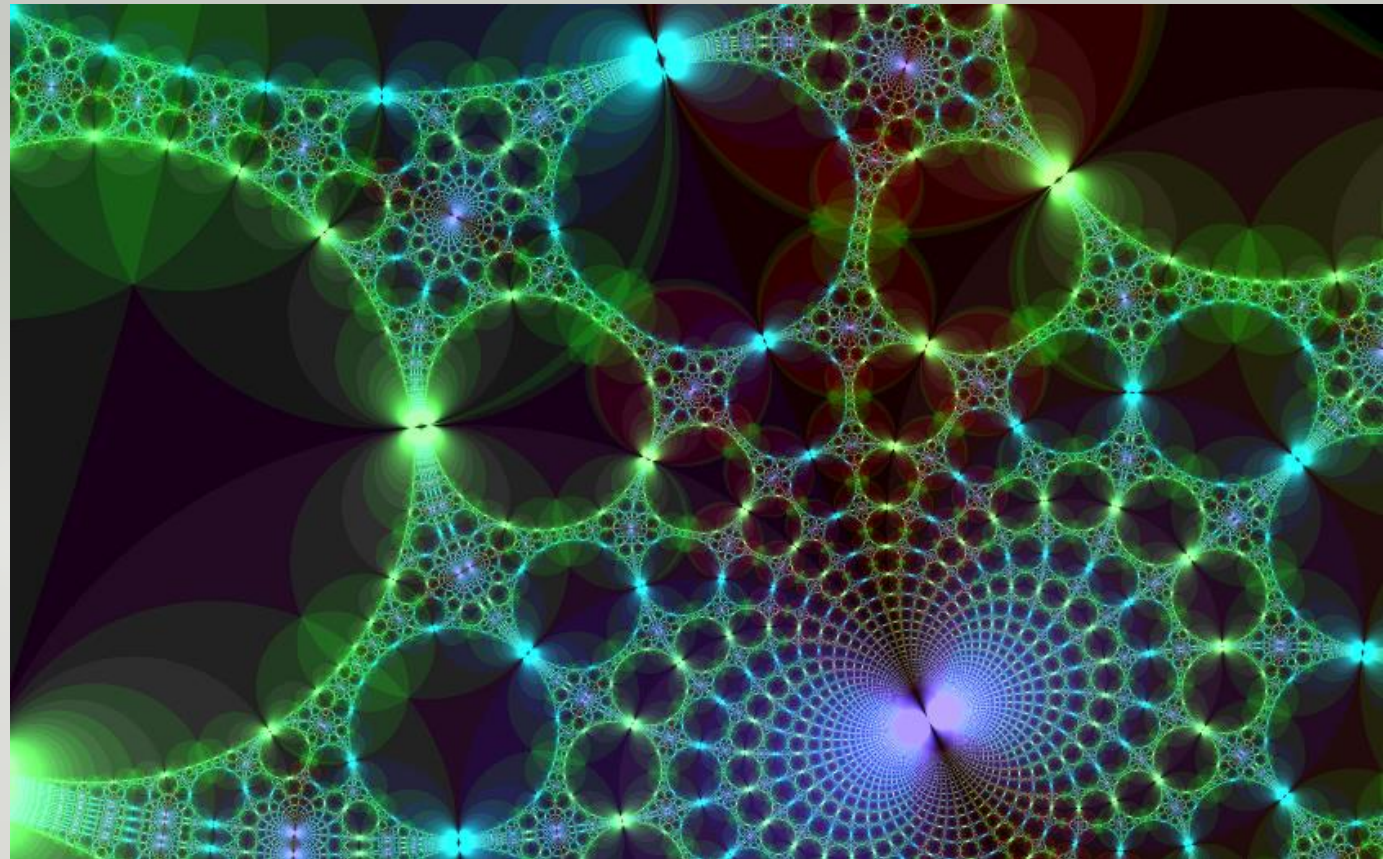
- vygenerovat síť oddělných míst dle zadaných parametrů  
(rozložení smart-meterů na koncentrátorech, typy smart-meterů, kvalita komunikačních kanálů, ...)
  - vygenerovat popis chování sítě smart-meterů  
(frekvence posílání dat, dostupnost data koncentrátorů a smart-meterů, výpadky, ...)
  - simulovat chování vygenerované sítě pomocí vygenerovaného popisu  
(komunikace s testovaným systémem)
-

## → Schéma simulátoru





# Simulátor: Generátor topologie gridu



### → Vstupní parametry

- počet datových koncentrátorů
  - procentuelní rozložení počtu smart meterů na datových koncentrátořech  
(35% smart datových koncentrátorů má 1 až 40 smart meterů)
  - procentuelní rozdělení do tříd kvality komunikačního kanálu
  - procentuelní rozdělení datových koncentrátorů do tříd dostupnosti
  - procentuelní rozdělení smart-meterů do tříd dostupnosti
  - informace o infrastruktuře (IP adresy, porty HES serverů a simulačních uzlů)
  - procentuelní rozložení dvoutarifních a jednotarifních OM
-

- Kmenová data pro import do datových centrál  
(CSV soubor)
  - Histogramy pro vizualizaci charakteristik vygenerované sítě  
(CSV soubory)
  - Export sítě pro vizualizaci v programu Cytoscape  
(CSV soubor)
-

## ➔ Kmenová data

ö  
ö

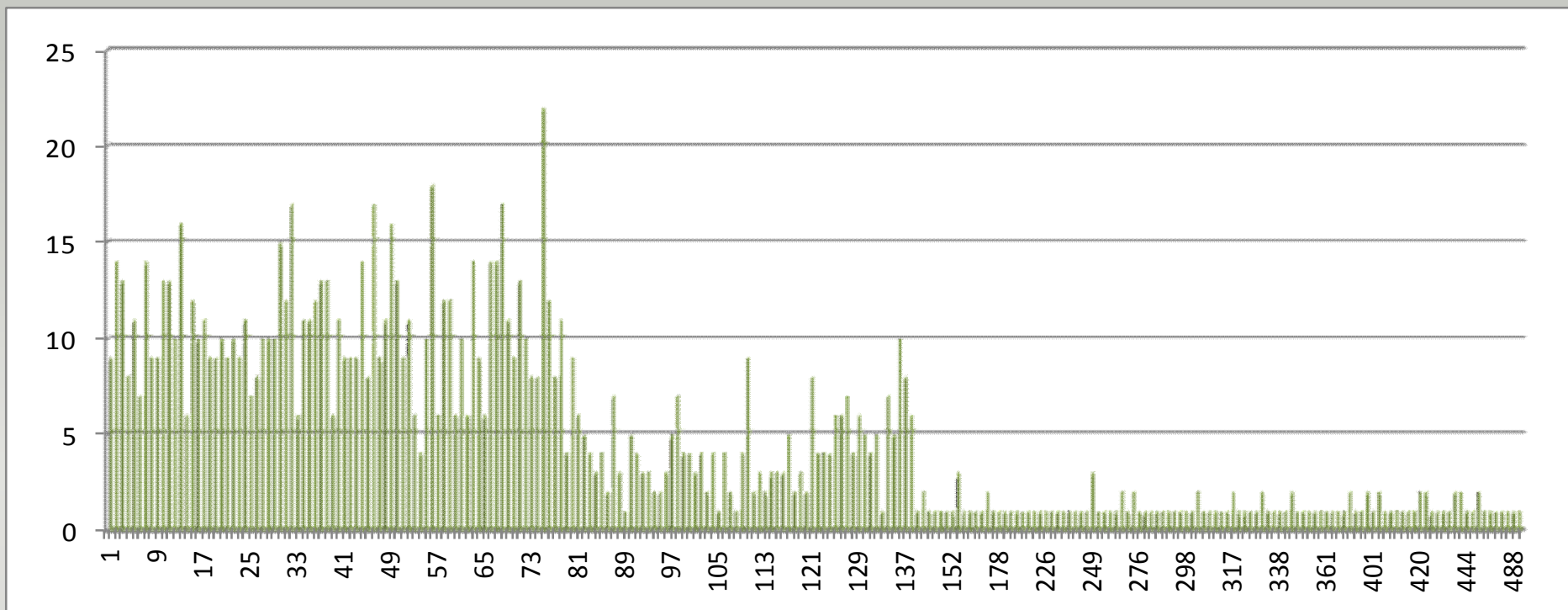
1000000;0;baaaaa;10000;baa;10000000;10000000;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.0843;4.1686;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000001;1;baaaaa;10000;baa;10000001;10000001;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.3293;4.363;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000002;2;baaaaa;10000;baa;10000002;10000002;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1825;4.1953;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000003;3;baaaaa;10000;baa;10000003;10000003;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.0868;4.2045;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000004;4;baaaaa;10000;baa;10000004;10000004;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1001;4.2317;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000005;5;baaaaa;10000;baa;10000005;10000005;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.2011;4.7316;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000006;6;baaaaa;10000;baa;10000006;10000006;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.0881;4.1722;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000007;7;baaaaa;10000;baa;10000007;10000007;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1016;4.3344;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000008;8;baaaaa;10000;baa;10000008;10000008;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1842;4.3665;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000009;9;baaaaa;10000;baa;10000009;10000009;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1132;4.2221;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000010;10;baaaaa;10000;baa;10000010;10000010;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1534;4.2254;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000011;11;baaaaa;10000;baa;10000011;10000011;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.089;4.1696;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000012;12;baaaaa;10000;baa;10000012;10000012;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.2083;4.2846;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000013;13;baaaaa;10000;baa;10000013;10000013;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1235;4.2262;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000014;14;baaaaa;10000;baa;10000014;10000014;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.0869;4.1736;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000015;15;baaaaa;10000;baa;10000015;10000015;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.3166;4.7847;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000016;16;baaaaa;10000;baa;10000016;10000016;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1373;4.2411;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000017;17;baaaaa;10000;baa;10000017;10000017;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1198;4.2267;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000018;18;baaaaa;10000;baa;10000018;10000018;VIEM\_LG\_PUSH>true;200;400;2.1628;4.1667;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000019;19;baaaaa;10000;baa;10000019;10000019;VIEM\_LG\_PUSH>false;200;0;2.1723;0.0;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000020;20;baaaaa;10000;baa;10000020;10000020;VIEM\_LG\_PUSH>false;200;0;2.1499;0.0;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000021;21;baaaaa;10000;baa;10000021;10000021;VIEM\_LG\_PUSH>false;200;0;2.0995;0.0;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000022;22;baaaaa;10000;baa;10000022;10000022;VIEM\_LG\_PUSH>false;200;0;2.1207;0.0;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000023;23;baaaaa;10000;baa;10000023;10000023;VIEM\_LG\_PUSH>false;200;0;2.1072;0.0;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14  
10000024;24;baaaaa;10000;baa;10000024;10000024;VIEM\_LG\_PUSH>false;200;0;2.2423;0.0;90010000;10.18.1.3;15000;baaaa;10.100.00.01;10.18.1.14

ö .  
ö .

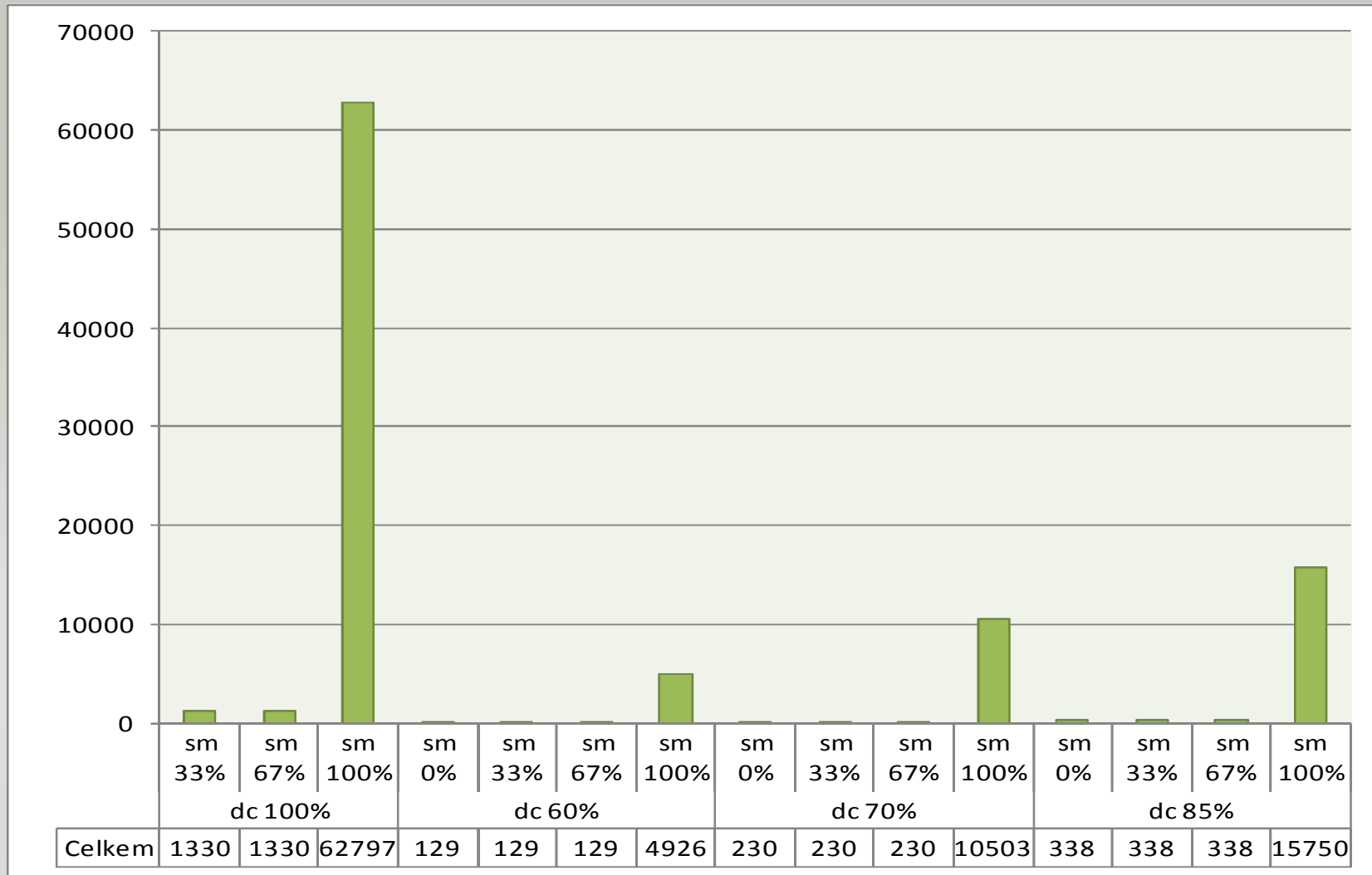
---



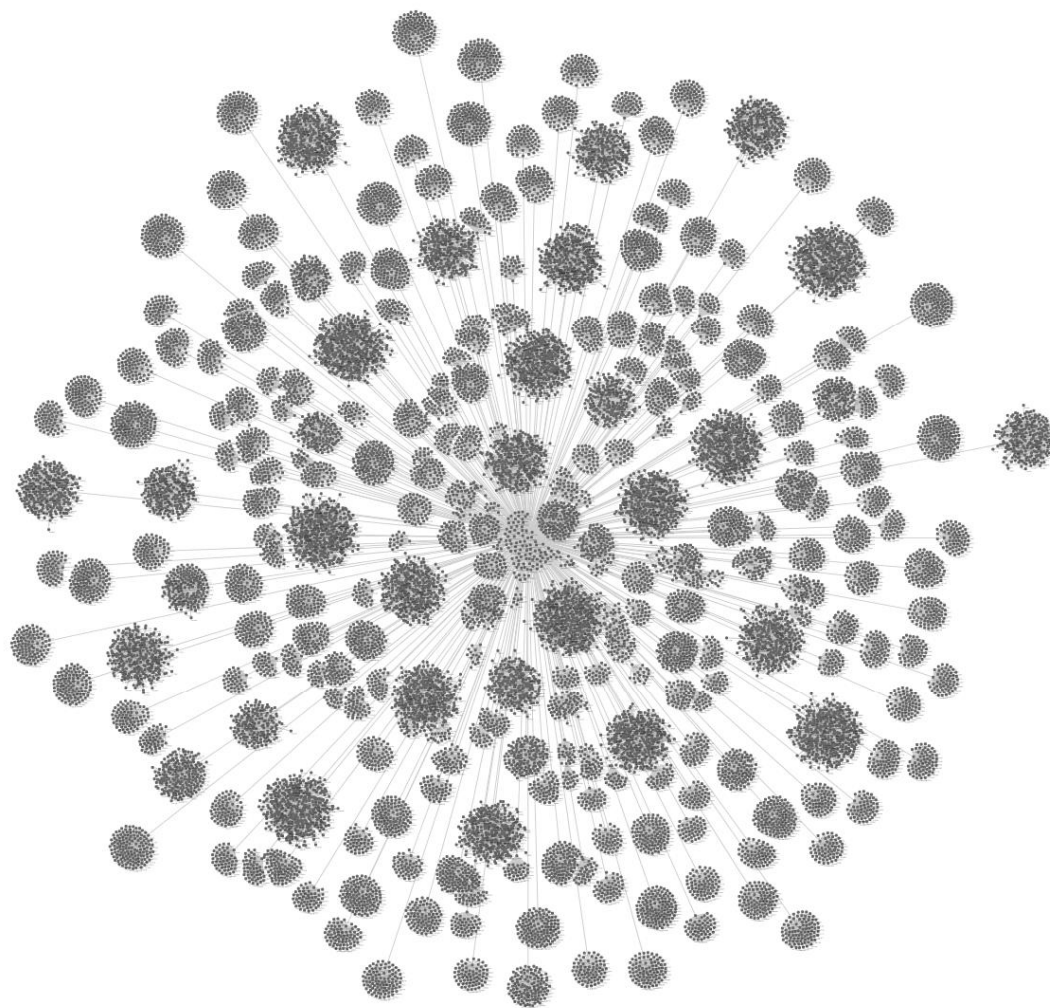
➔ Po ty smart-meter na koncentrátorech (grid 100k)



## ➔ Rozložení dostupností (grid 100k)

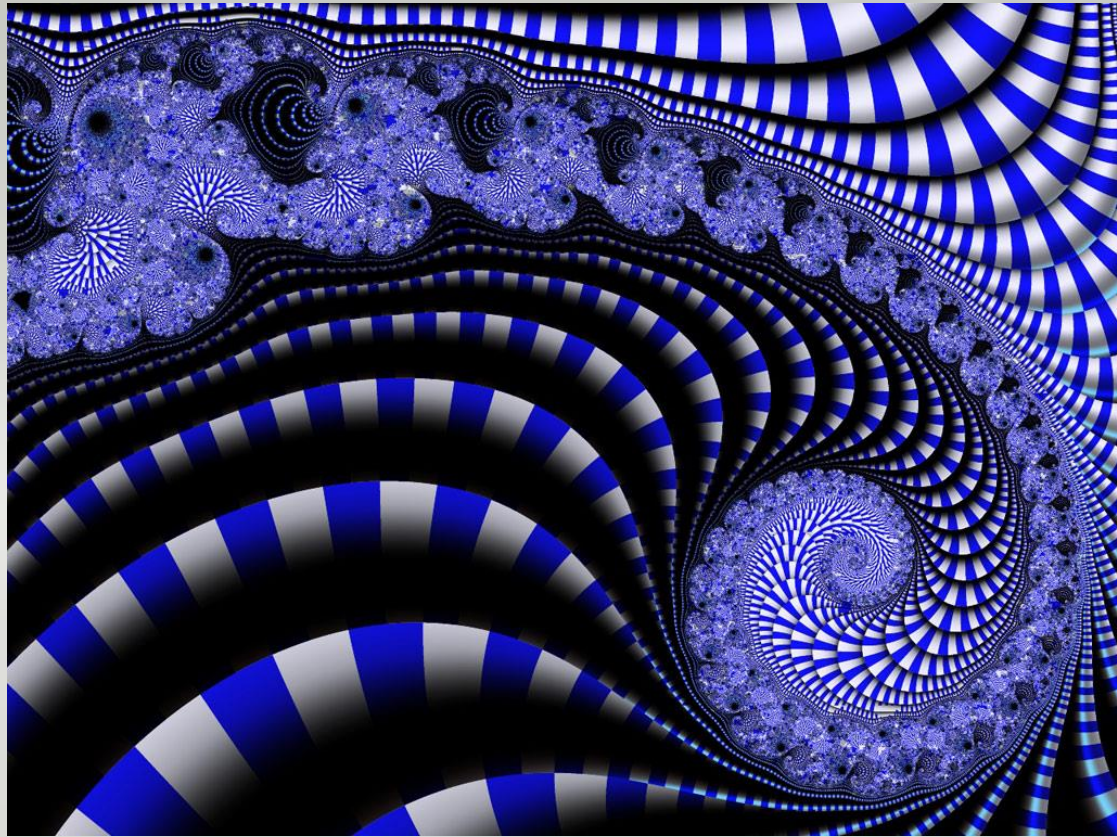


→ Cytoscape . vizualizace ásti gridu





# Simulátor: generátor chování gridu



## → Simula ní plán

- ➔ Na základ parametr generovaný p edpis popisující KDY se KAM budou JAKÁ m ení posílat ( M x N XML soubor . M je počet simula ních uzl , N je po0adovaná asová segmentace soubor )

```
▼<concentrator id="90011061">
  <ip>10.18.1.5</ip>
  <port>15031</port>
  <source_port>25032</source_port>
  <target_host>10.18.1.41</target_host>
  <target_port>10000</target_port>
  ▼<meters>
    <meter man_code="11061003" ean_code="11061003" id="11061003" send_data_from="2012-12-05
    00:15:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter man_code="11061005" ean_code="11061005" id="11061005" send_data_from="2012-12-05
    00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter man_code="11061007" ean_code="11061007" id="11061007" send_data_from="2012-12-05
    00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter_clone man_code_from="11061009" ean_code_from="11061009" id_from="11061009"
    send_data_from="2012-12-05 00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01" clones="54"/>
  </meters>
</concentrator>
```

## → Vstupní parametry

- délka kroku (15 minut)
  - počet kroků (3 dny po 15 minutách . 288 kroků )
  - časová známka měření z prvního kroku
  - interpretace tídy dostupnosti datových koncentrátorů  
(např. tída dostupnosti DC-B odpovídá 70% denní dostupnosti)
  - interpretace tídy dostupnosti smart meter  
(např. tída dostupnosti SM-C odpovídá 33% denní dostupnosti)
  - počet vzorů dostupnosti v dané tídě dostupnosti datových koncentrátorů a smart meter
-

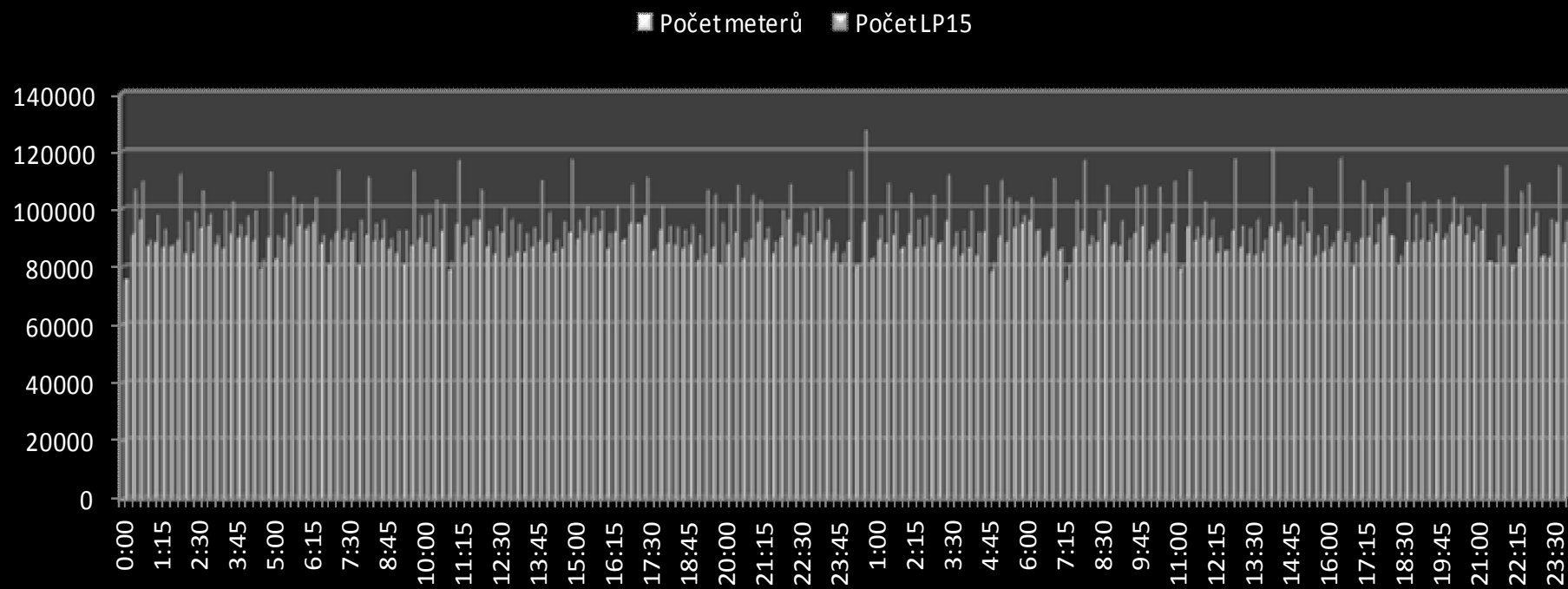
- vygenerované simulační plány  
(XML soubory)
  - sumární shrnutí simulačního plánu  
(CSV soubor)
  - sumarizace vzor chování tíd dostupnosti  
(CSV soubor)
-

## → Výstupy . simula ní plán

```
▼<concentrator id="90011061">
  <ip>10.18.1.5</ip>
  <port>15031</port>
  <source_port>25032</source_port>
  <target_host>10.18.1.41</target_host>
  <target_port>10000</target_port>
  ▼<meters>
    <meter man_code="11061003" ean_code="11061003" id="11061003" send_data_from="2012-12-05
    00:15:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter man_code="11061005" ean_code="11061005" id="11061005" send_data_from="2012-12-05
    00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter man_code="11061007" ean_code="11061007" id="11061007" send_data_from="2012-12-05
    00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter_clone man_code_from="11061009" ean_code_from="11061009" id_from="11061009"
    send_data_from="2012-12-05 00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01" clones="54"/>
  </meters>
</concentrator>
▼<concentrator id="90011062">
  <ip>10.18.1.5</ip>
  <port>15032</port>
  <source_port>25033</source_port>
  <target_host>10.18.1.41</target_host>
  <target_port>10000</target_port>
  ▼<meters>
    <meter man_code="11062004" ean_code="11062004" id="11062004" send_data_from="2012-12-05
    00:30:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter man_code="11062005" ean_code="11062005" id="11062005" send_data_from="2012-12-05
    00:15:00" send_data_to="2012-12-05 00:30:01"/>
    <meter man code="11062006" ean code="11062006" id="11062006" send data from="2012-12-05
```

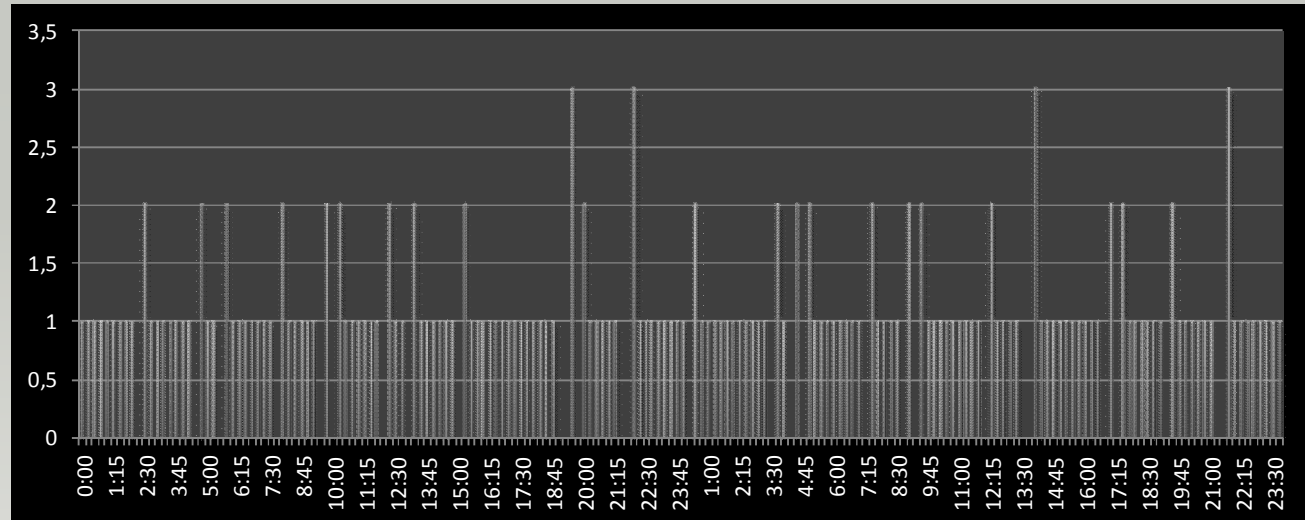


## ➔ Sumarizace plánu

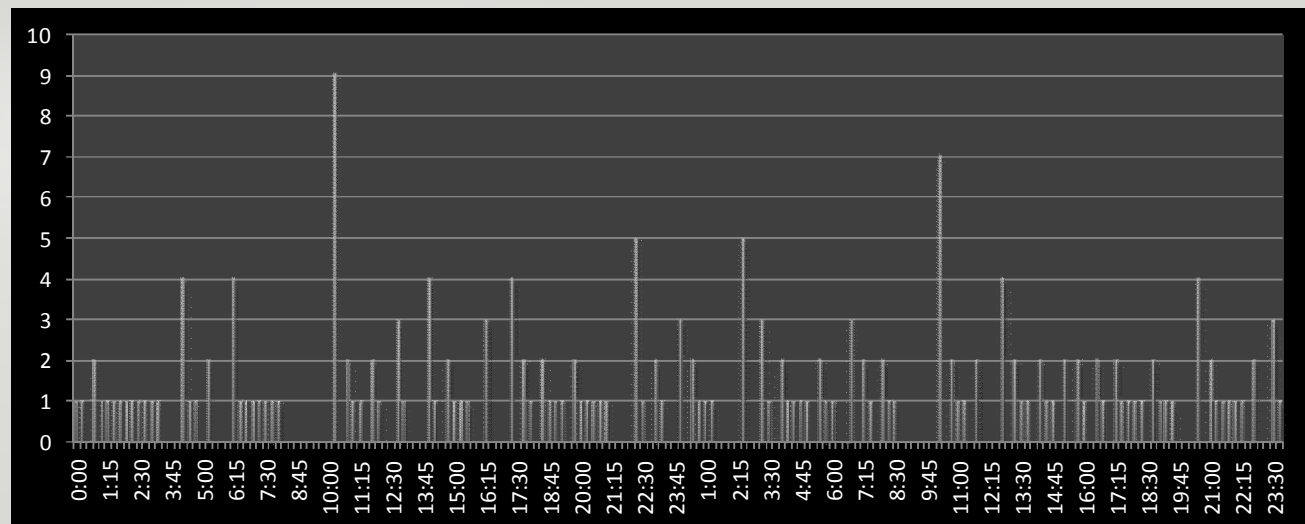


# → Výstupy . p íklady komunika ních vzor koncentrátor

Vzor A  
(dostupnost  
85% asu)

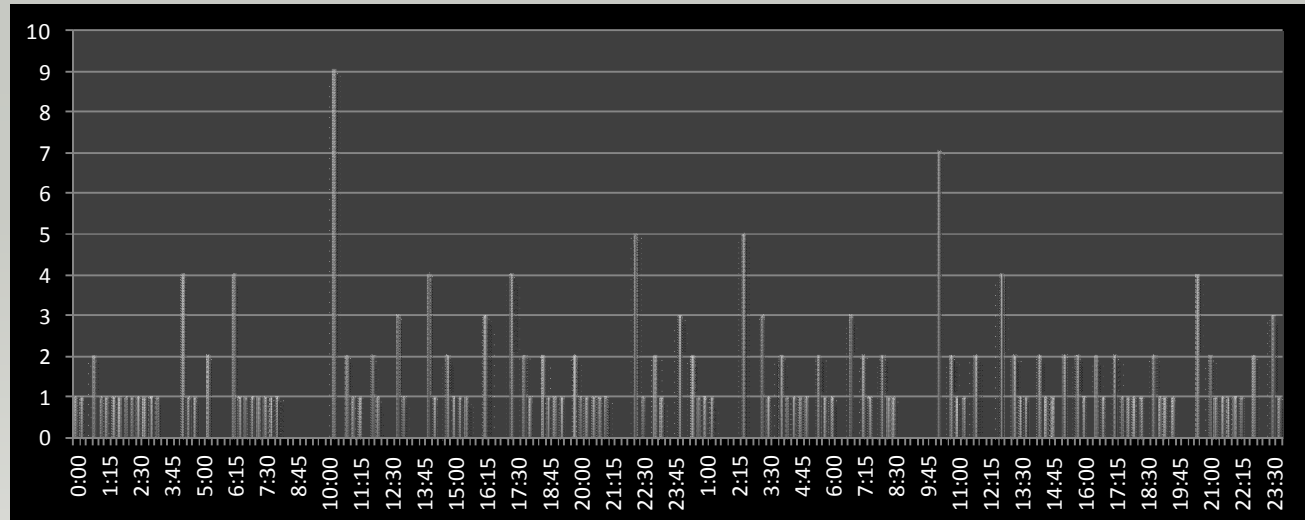


Vzor C  
(dostupnost  
60% asu)

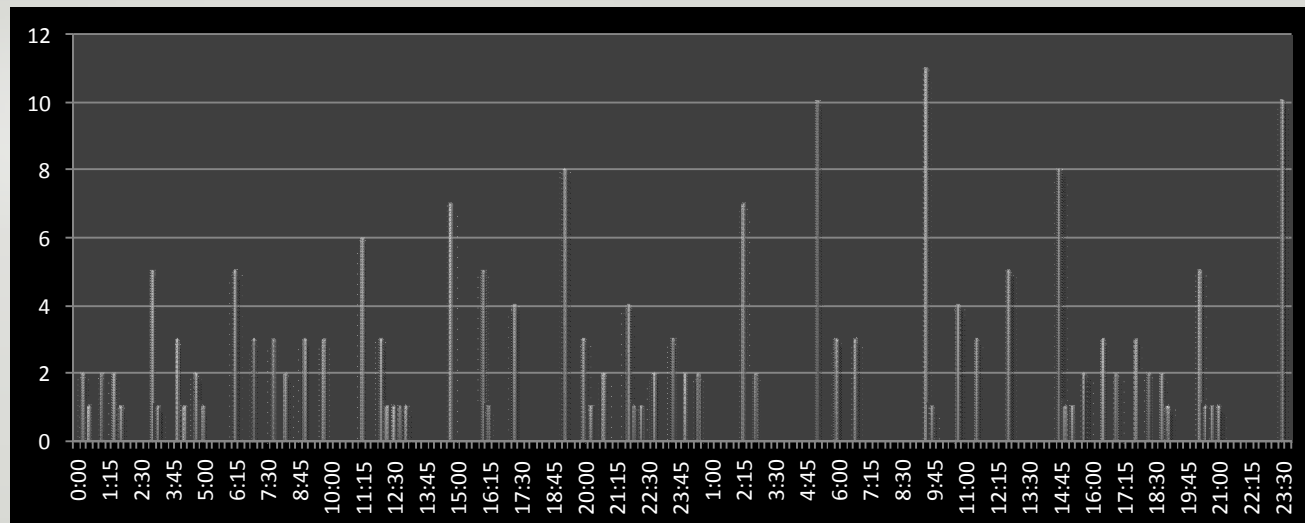


## → Výstupy . p íklady komunika ních vzor smart-meter

Vzor B  
(dostupnost  
67% asu)

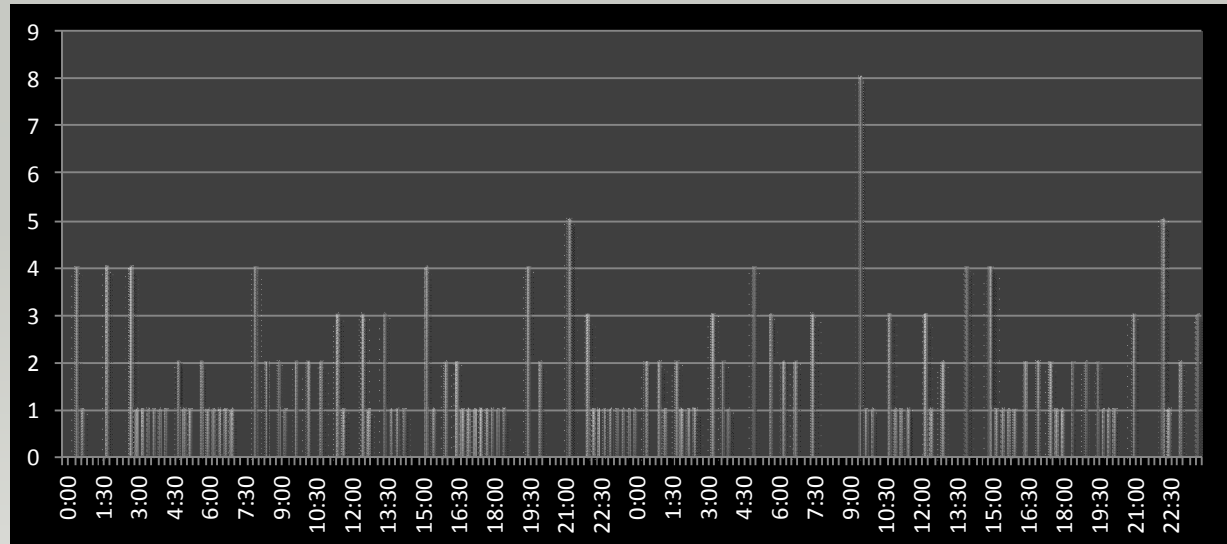


Vzor C  
(dostupnost  
33% asu)

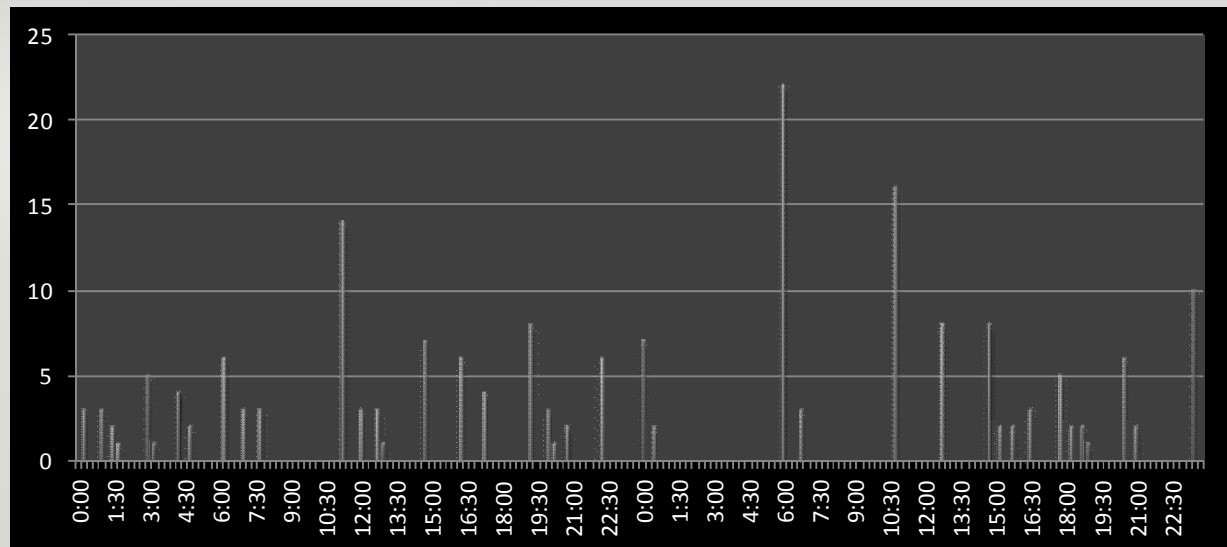


## → Výstupy . kombinace vzor koncentrátoru a smart-meter

Kombinace  
DC-A ,SM-B

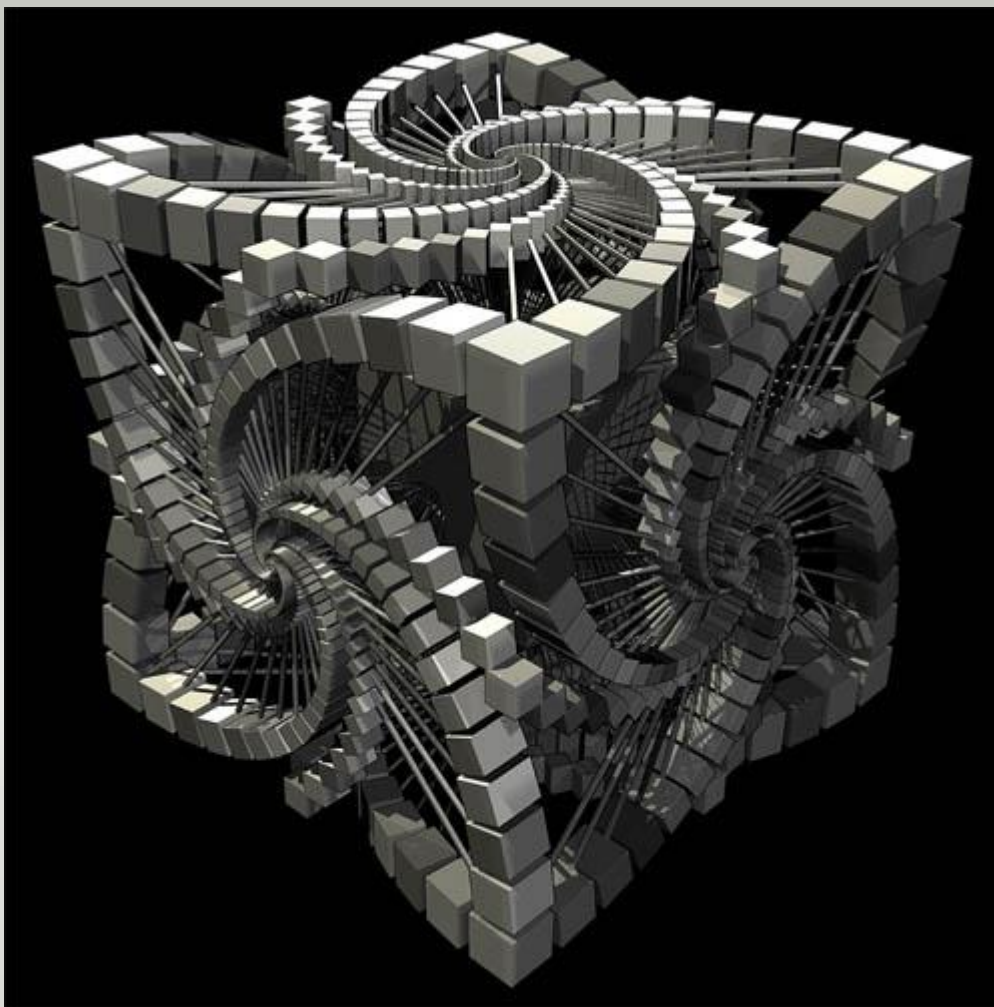


Kombinace  
DC-C a SM-C



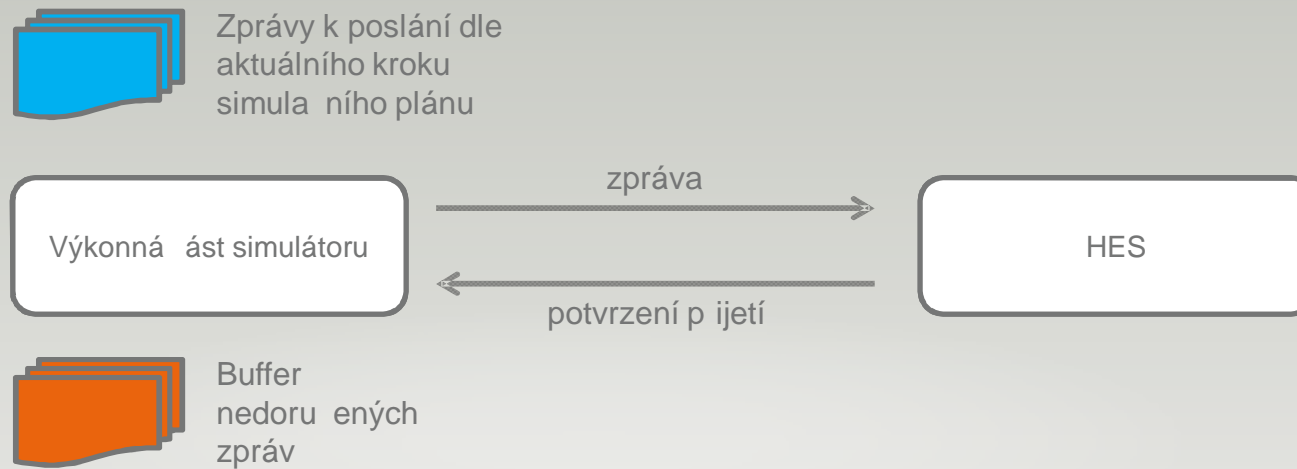


Simulátor:  
výkonná část



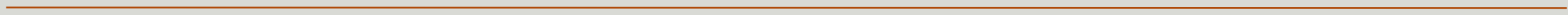
- Separátní aplikace spuštěná na každém simulačním uzlu
  - Interpretuje simulační plán a vykonává kroky v něm uvedené
  - Komunikuje s HESy pomocí daného protokolu (nyní AGS-DK PUSH)
  - V případě nepotvrzení přijetí zprávy od HESu si nepotvrzené zprávy odkládá do fronty
  - Nedoručené zprávy z daného koncentrátoru se snaží doručovat v dalším kroku, kdy je koncentrátor dostupný
  - Svoji činnost podrobně loguje pro potřeby monitoringu
-

## → Princip odesílání zpráv





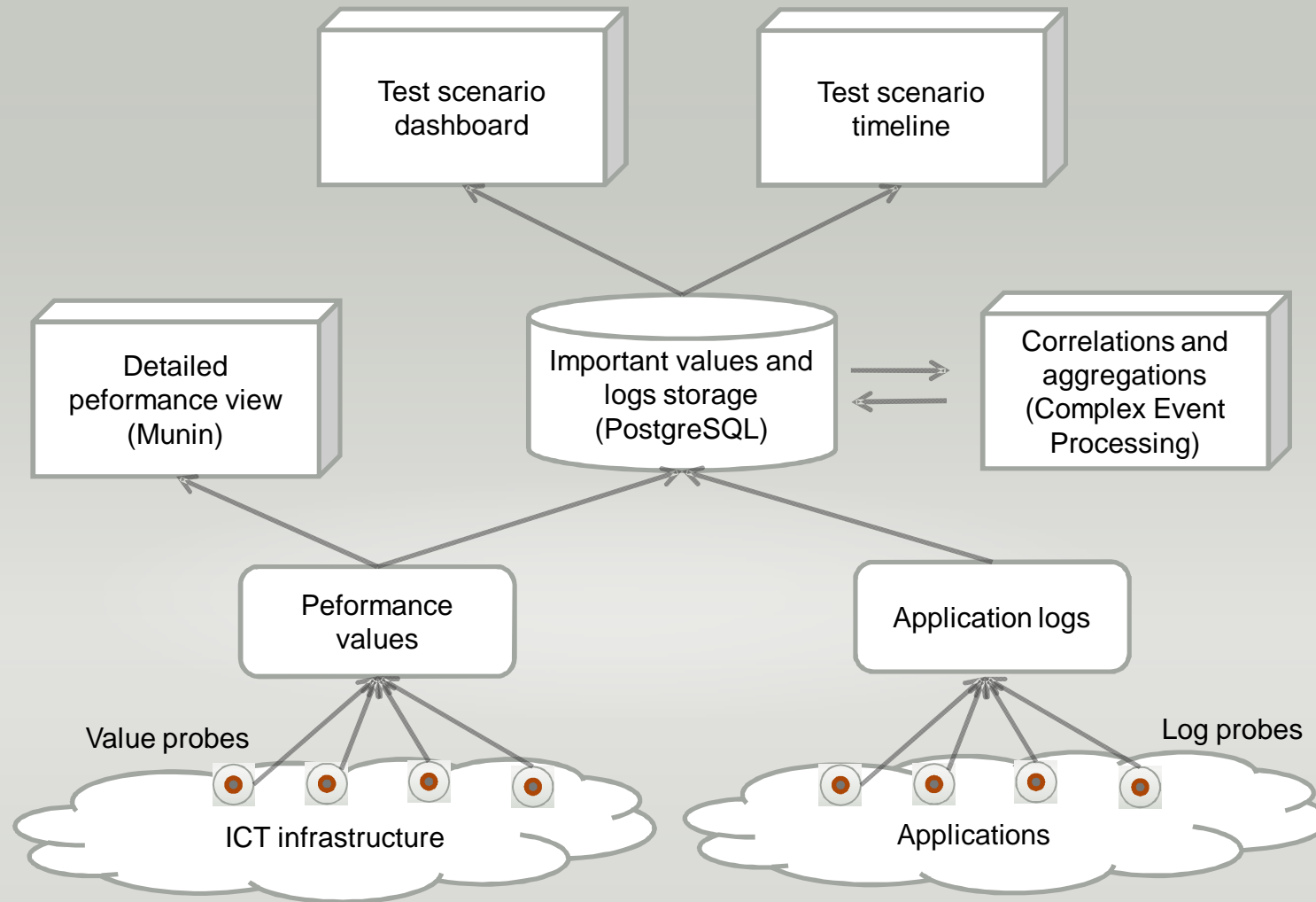
# Monitoring





- sledovat chování jednotlivých HW komponent  
(CPU, disky, IO operace, síťovou komunikaci, ...)
  - sledovat chování jednotlivých SW komponent  
(vytíženost jednotlivých aplikací, problémy, odezvy, ...)
  - propojit informace o tom
    - čím aktuálně simulátor úkoluje celý systém
    - jak se s tím vyrovnávají aplikace
    - jak se s tím vyrovnává infrastruktura
-

## → Schéma monitoringu



## → Monitorované veličiny a události

- výkonnostní charakteristiky Windows a Linux server  
(CPU, disky, IO operace, síťovou komunikaci, ...)
  - výkonnostní charakteristiky DB Oracle  
  erpáním dat z Oracle Automatic Workload Repository (AWR)
  - logy
    - simulace uzly
    - HESy
    - záznamy o průběhu zpracování z EA MDMS
  - aktivní dotazování
    - ping
-

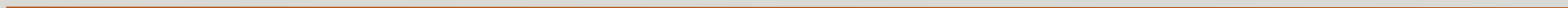
- k dispozici jsou sbírané a odvozené veličiny a události za jednotlivé testovací běhy
  - struktura záznam
    - kdy událost nastala (v reálném i simulacím případě)
    - typ události
    - typ zdroje (simulátor, HES, databáze, aplikace, měřič)
    - zdroj (jméno stroje, IP adresa, identifikace DB)
    - hodnota . variabilní dle typu události  
(počet zpráv, průměrná délka zpracování, ...)
  - objem dat . za dvoudenní test 100k smart meter je nasbíráno cca 547 tisíc záznam
-

## → Vizualizace průběhu testu - dashboard

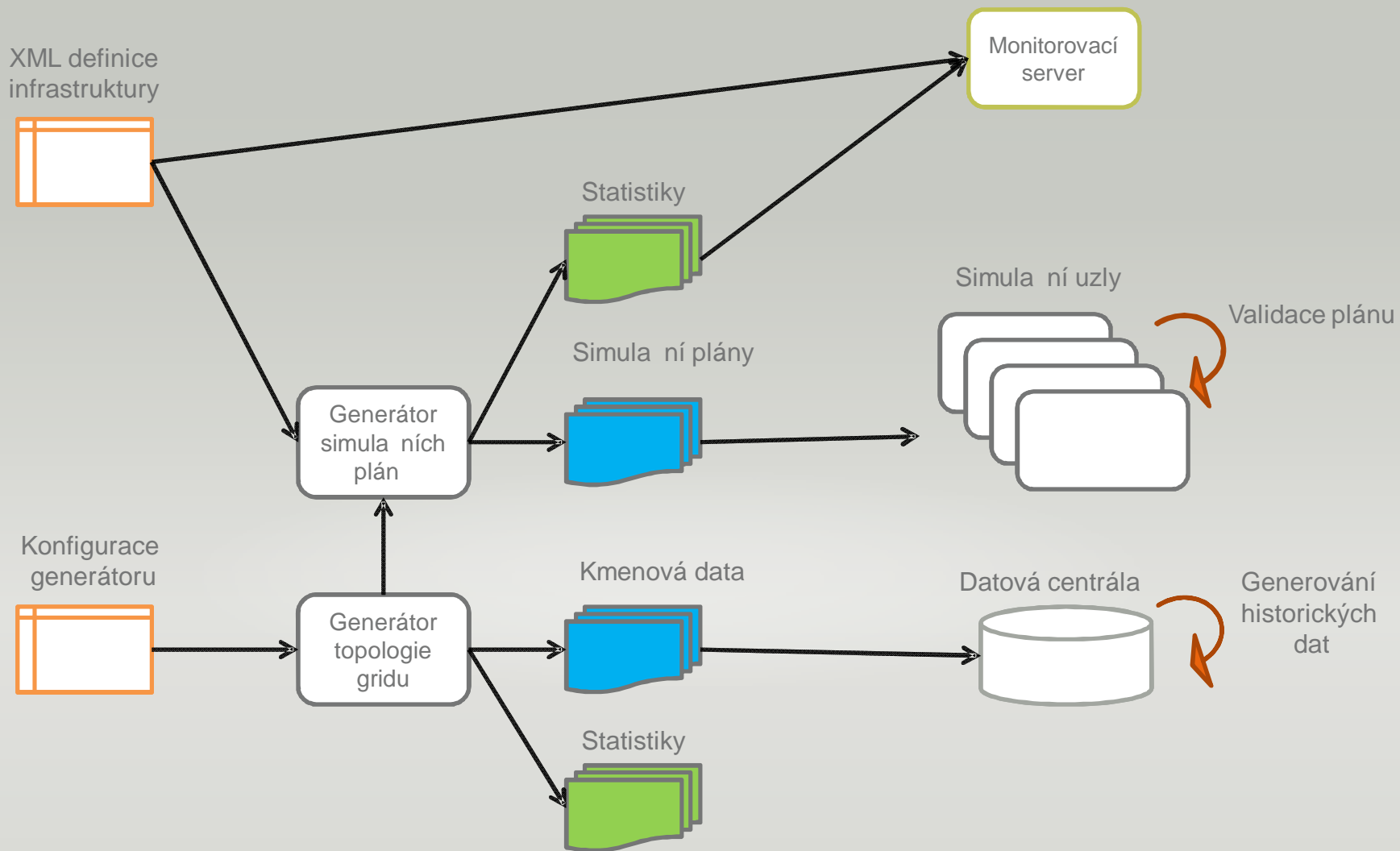
- sledování aktuálního stavu agregovaných veličin  
(propustnost aplikačních komponent, vytíženost infrastruktury, ...)
-



# Simula ní testy

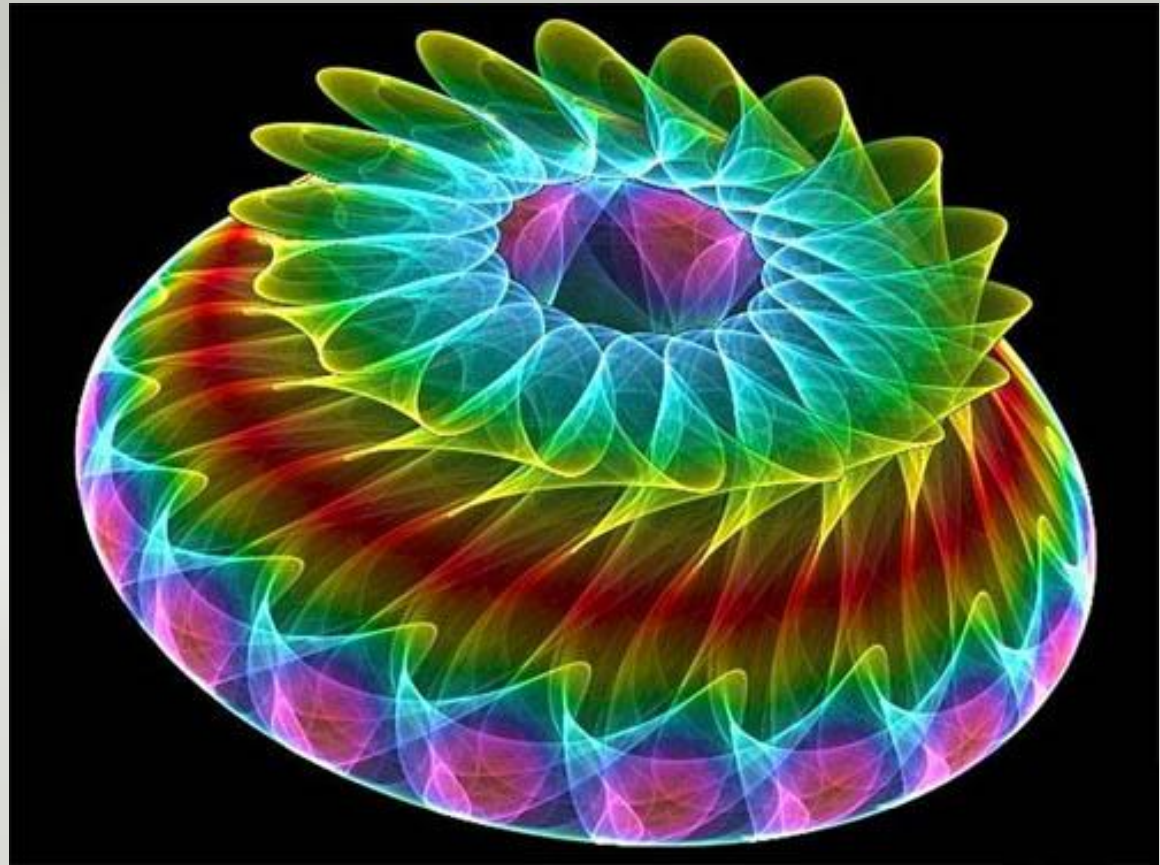


## ➔ Proces p ípravy testu



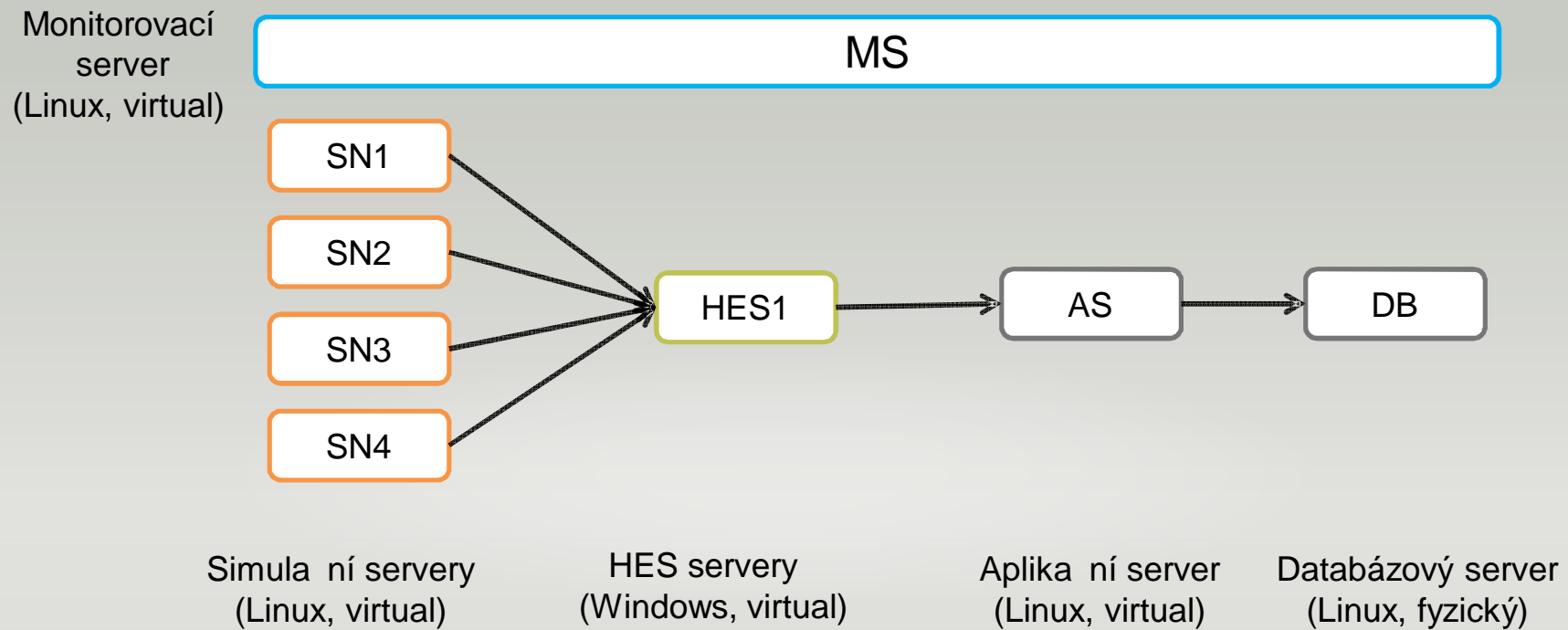


Test 100k

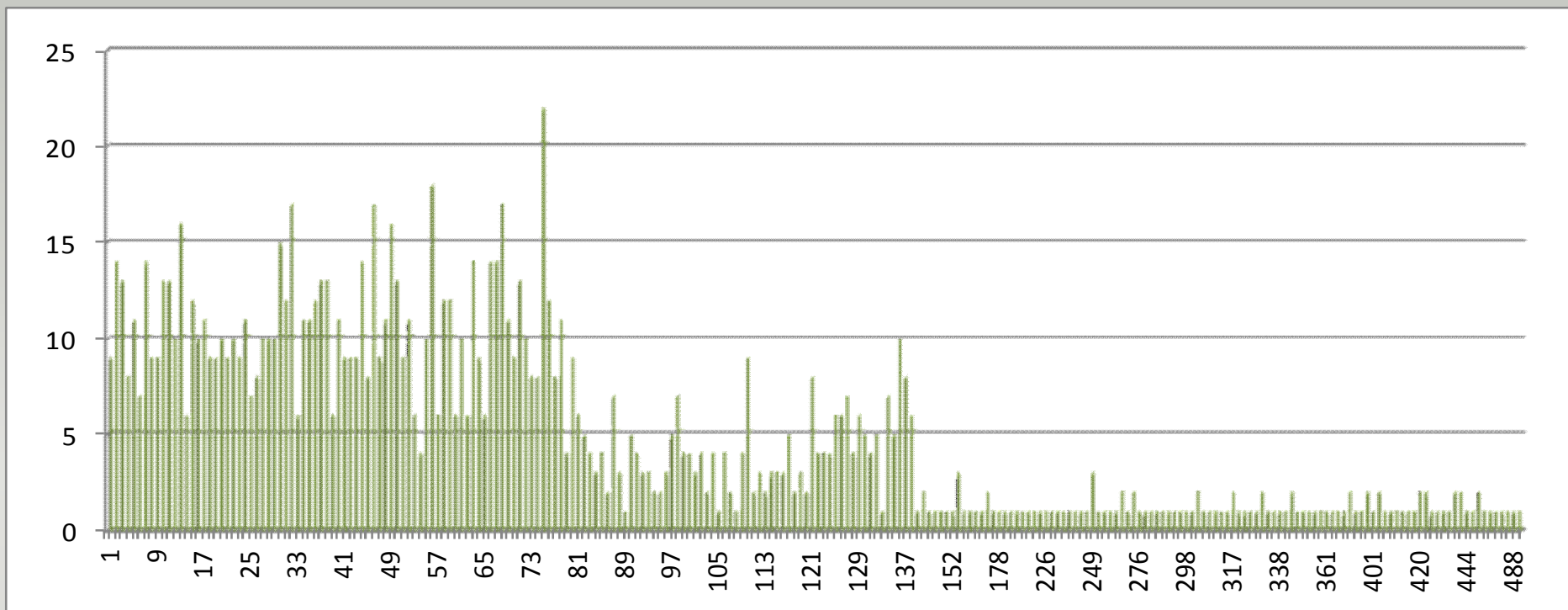




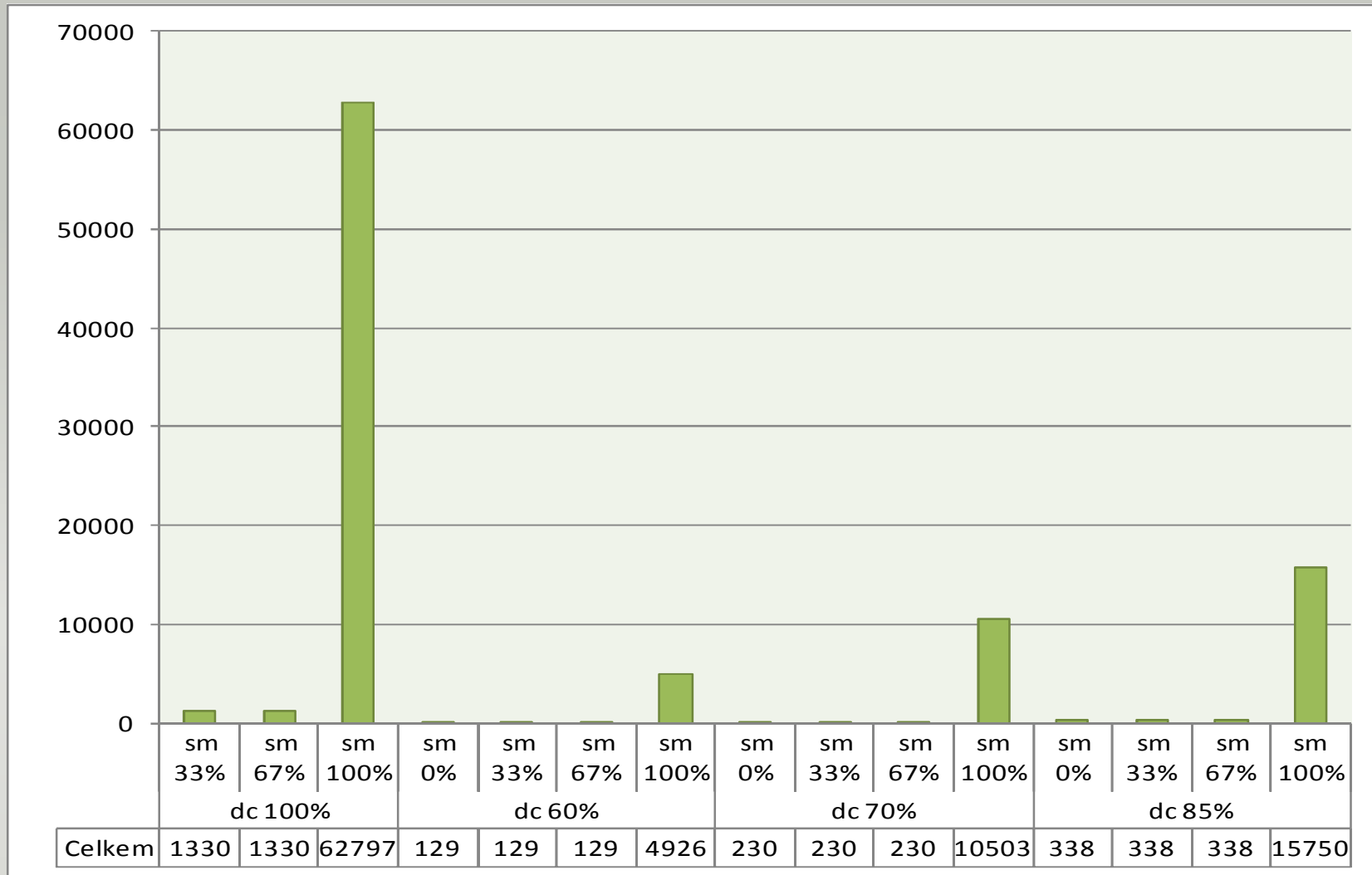
## → Infrastruktura pro test (100k)



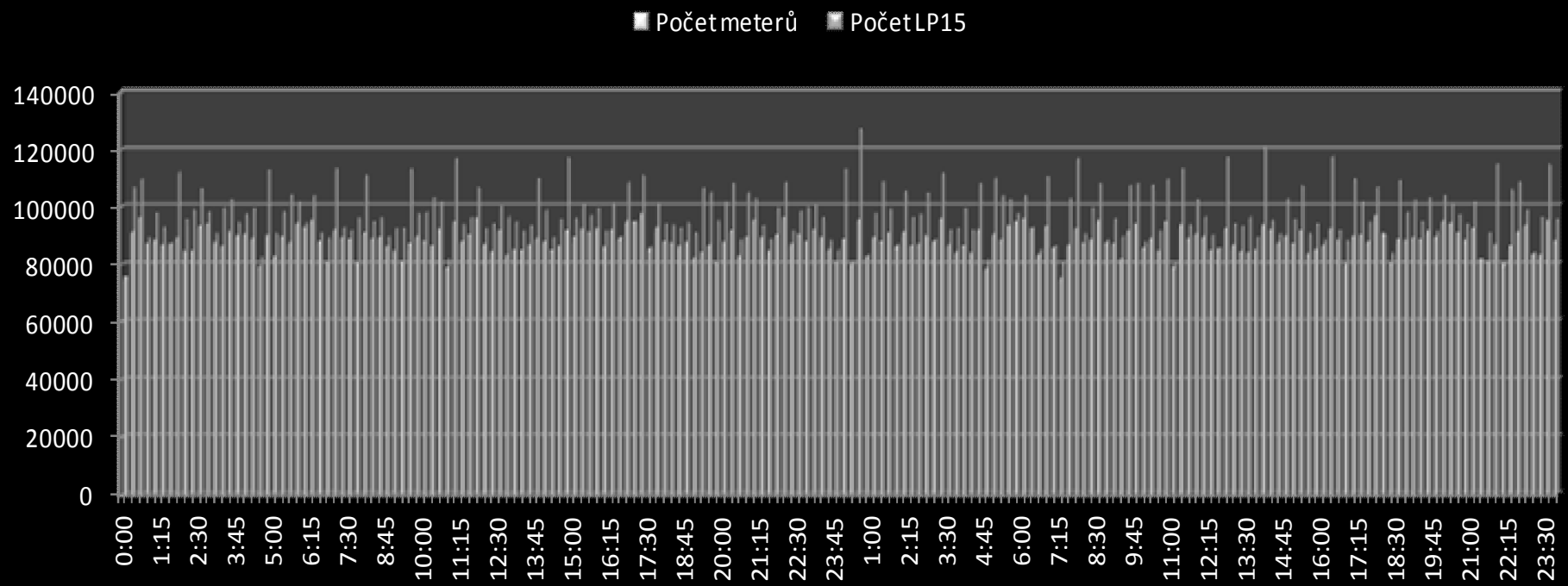
➔ Po ty smart-meter na koncentrátorech (grid 100k)



## ➔ Rozložení dostupností (grid 100k)



## ➔ Sumarizace plánu



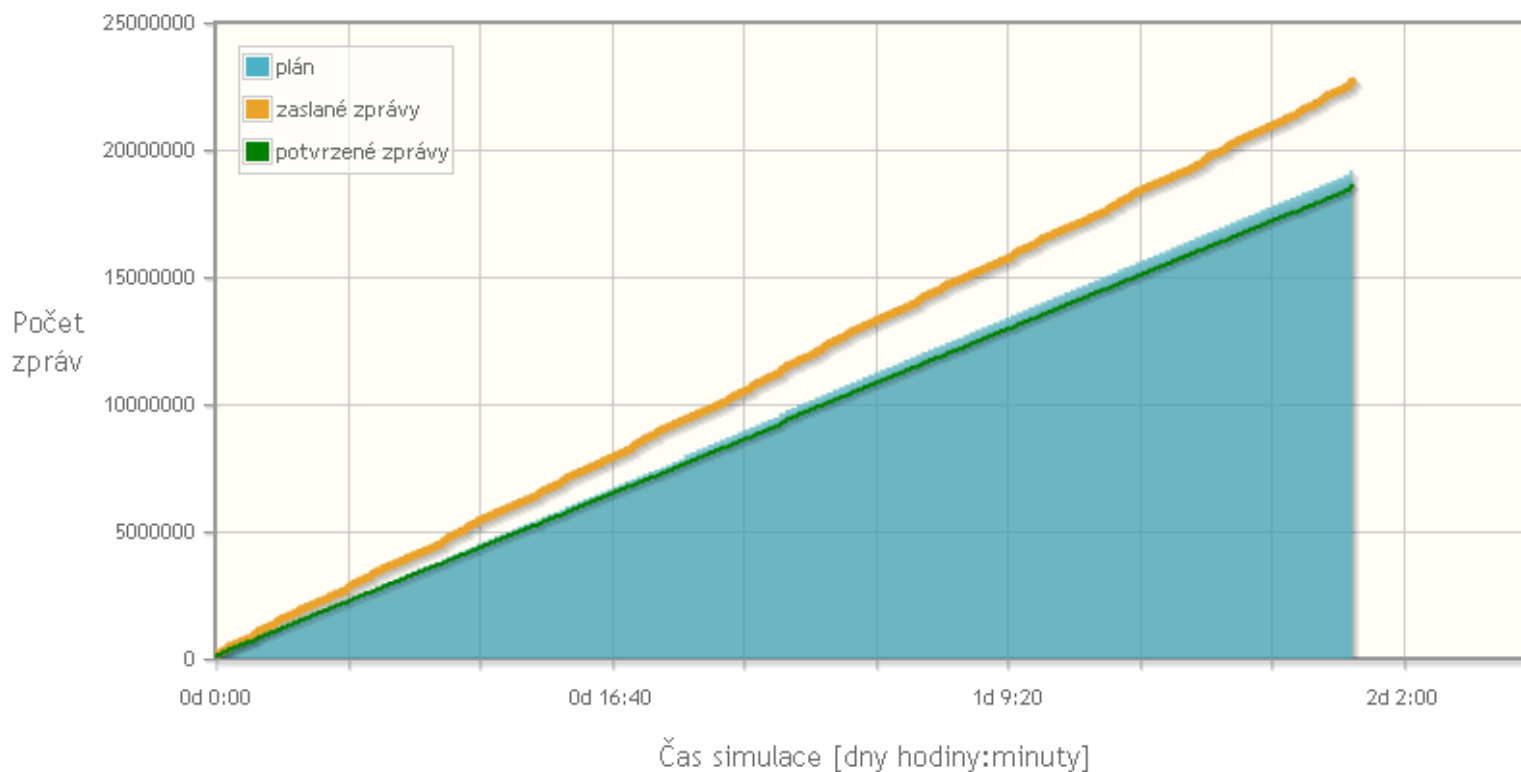
## ➔ Test 100k smart meter

Monitoring	Počet meterů	Počet koncentrátorů	Začátek testu	Poslední krok zaslání dat	Ukončení zaslání dat	Uzavření testu	Stav
<a href="#">Timeline, Munin</a>	100 057	1 212	5.12.2012 17:06:25	7.12.2012 16:51:25	7.12.2012 17:00:08	7.12.2012 17:15:09	100 %

### Simulátor

[5min. měření]

Odesláno 18 584 328 z 19 411 058 měření – tj. 96 %

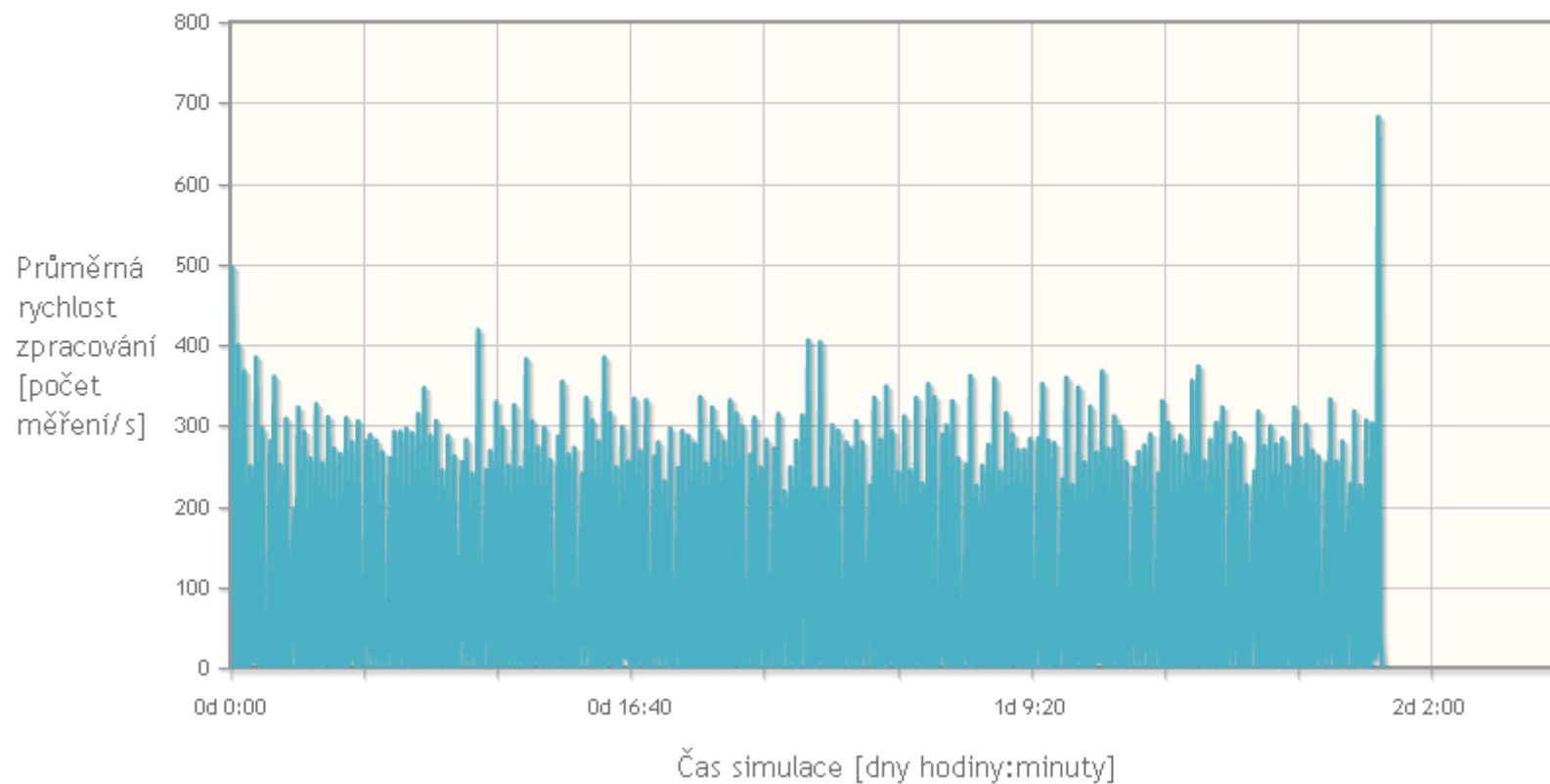


## → Test 100k smart meter

### HES servery

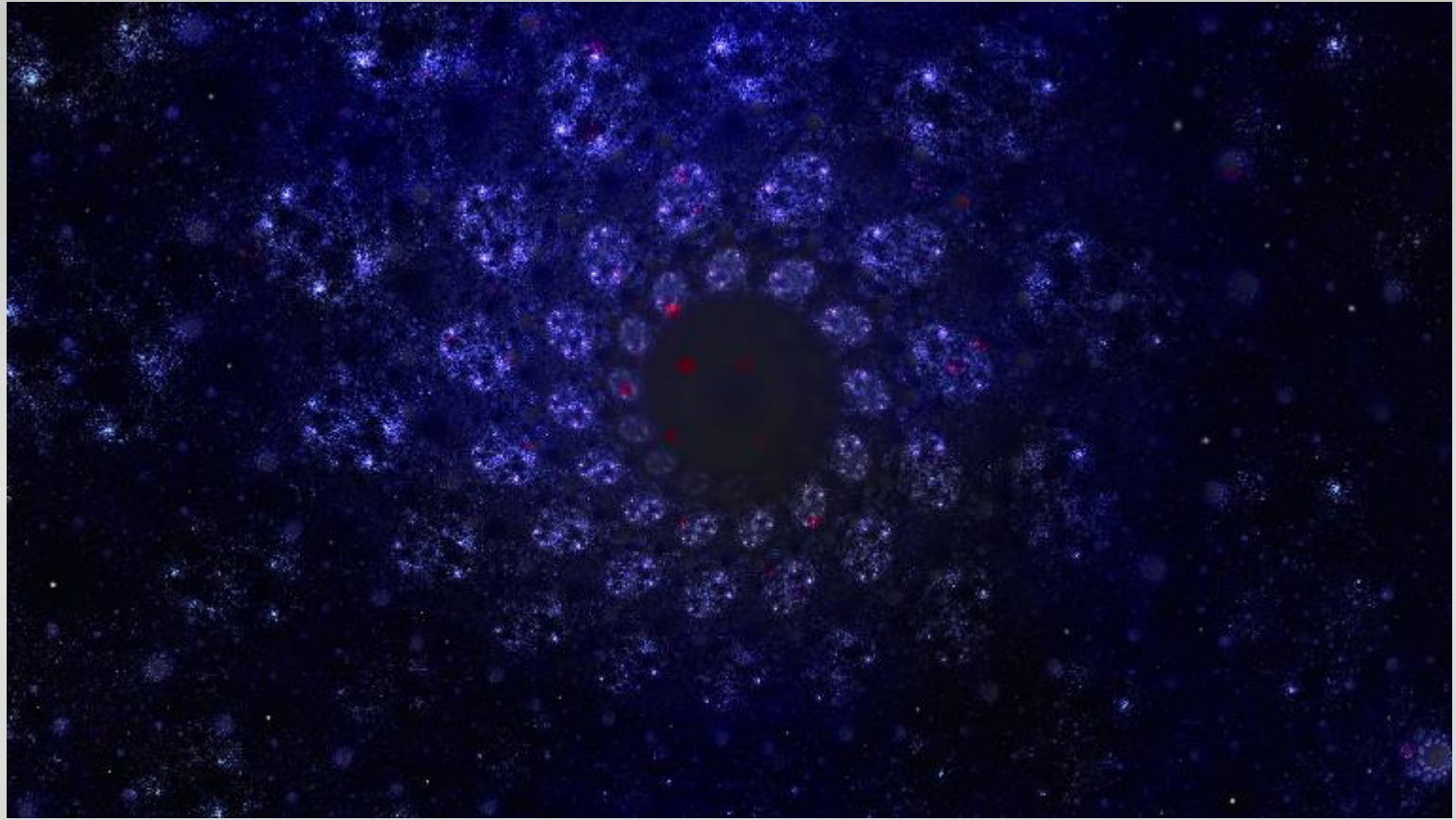
[5min. měření]

Zpracováno 18 886 623 z 19 411 058 měření – tj. 97 %

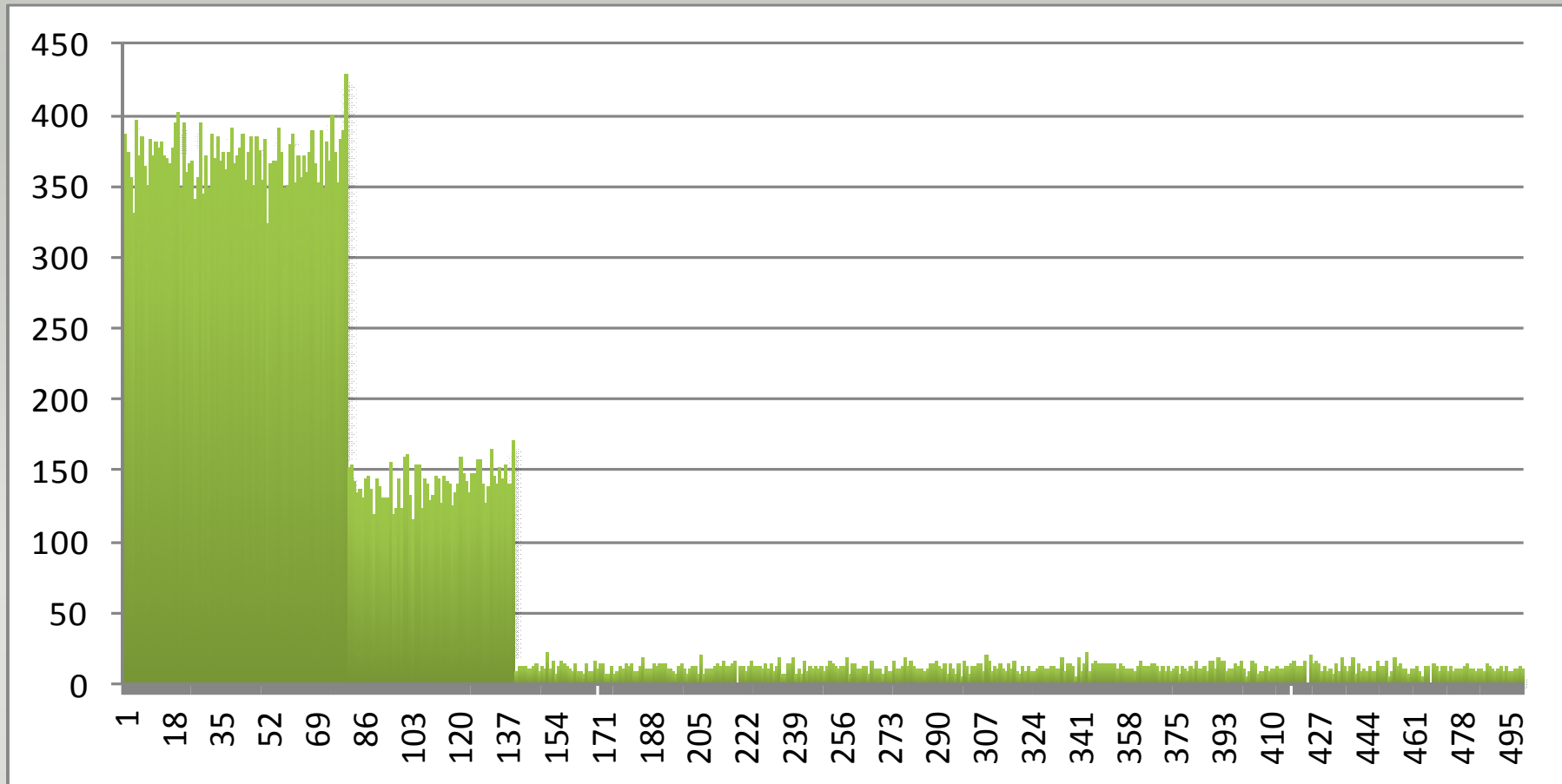




# Test 3500k

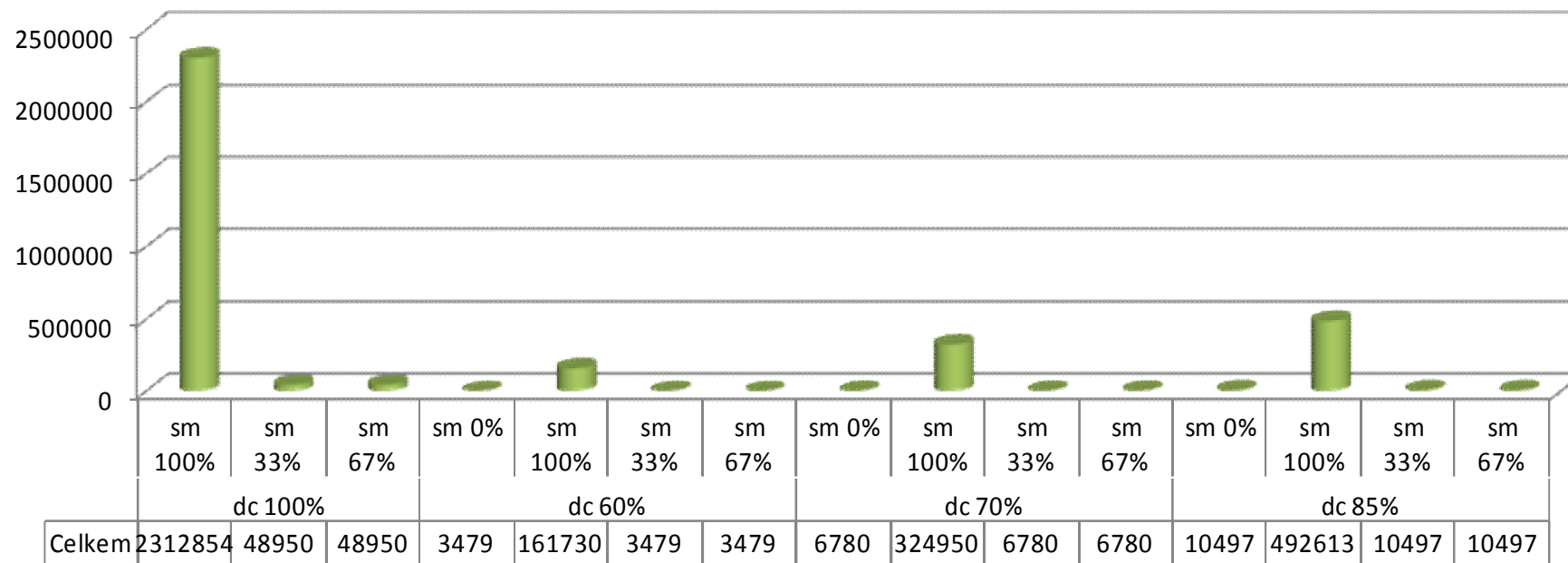


## ➔ Rozložení meter na koncentrátorech

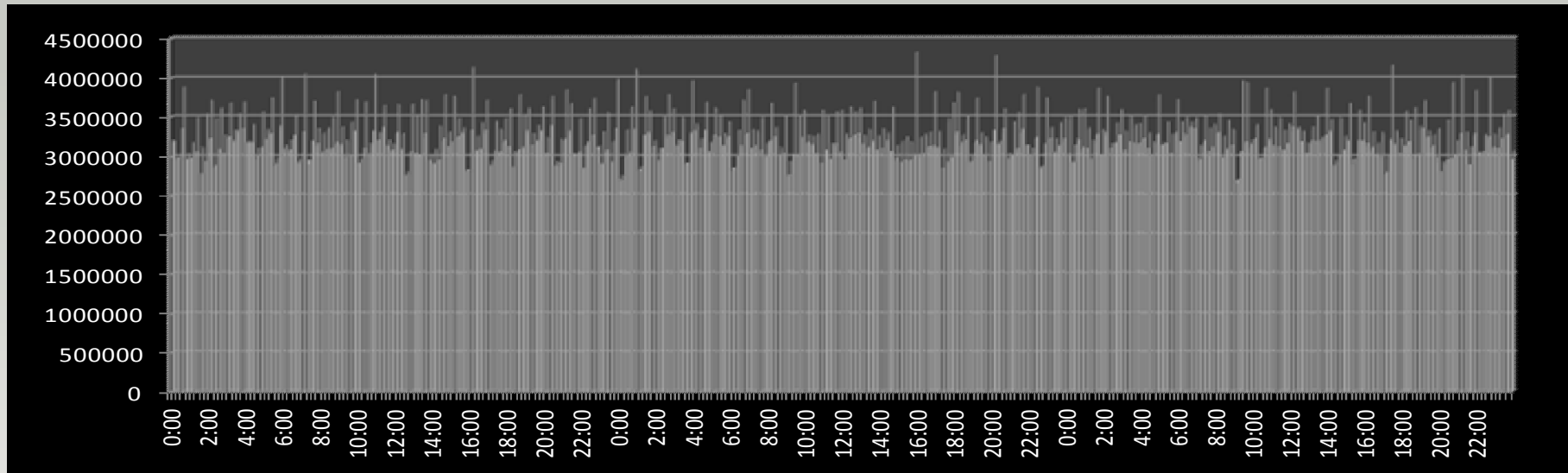




## → Rozložení dostupnosti



# → Simula ní plán



## → Další rozvoj

- podrobnější analýza měřených dat
  - podrobnější simulace komunikačních kanálů
  - podrobnější simulace koncentrátorů a meterů
  - paralelní běh testů
  - využití simulátoru pro modelování problému se solárními panely na střeších
  - hledání optimálních komunikačních strategií
  - ...
-

## → Další rozvoj

- podrobnější analýza měřených dat
  - podrobnější simulace komunikačních kanálů
  - podrobnější simulace koncentrátorů a meterů
  - paralelní běh testů
  - využití simulátoru pro modelování problému se solárními panely na střeších
  - hledání optimálních komunikačních strategií
  - ...
-