

ANALIZA HW/SW PLATFORME ZA POTREBE SISTEMA ZA UPRAVLJANJE PODACIMA O POTROŠNJI I SKLADIŠTENJE PODATAKA (MDM/R)

A. Mihajlov*, Institut „Mihajlo Pupin – Automatika“, Srbija

D. Vukotić, PD „Elektrodistribucija Beograd“, d.o.o, Srbija

M. Nikolić, Institut „Mihajlo Pupin – Automatika“, Srbija

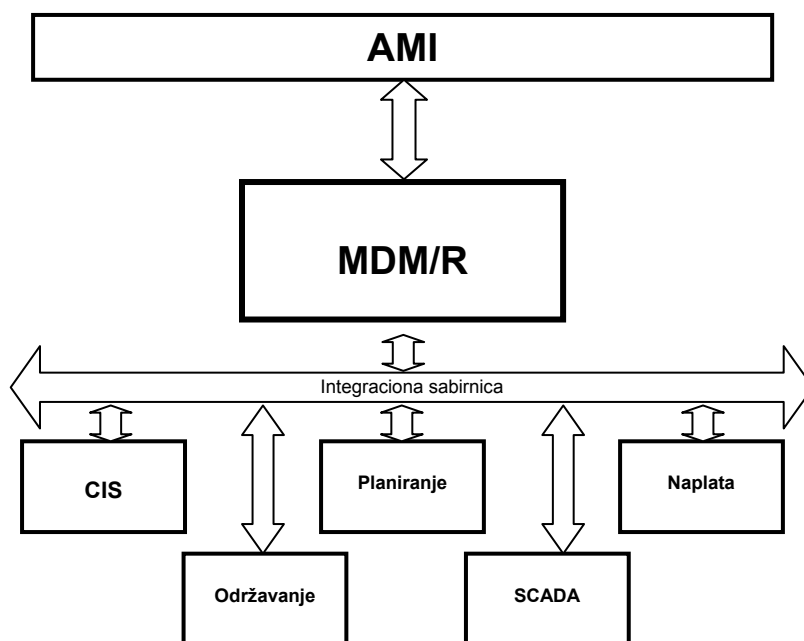
UVOD

Pojava naprednog sistema za očitavanje potrošnje (Smart Metering System) je prouzrokovala revoluciju u proizvodnji, distribuciji i potrošnji električne energije. Pružajući bolji pregled stanja u sistemu omogućava preciznije planiranje proizvodnje i potrošnje koje smanjuje gubitake u sistemu. Napredni sistem daje mogućnost pojedinačnom korisniku da kontroliše svoju potrošnju i da u dogovoru sa distributerom bira tarifni sistem koji najbolje odgovara njegovim potrebama. Veća upotreba energije proizvedene iz obnovljivih izvora i buduća mikroproizvodnja u domaćinstvima podržana naprednim sistemom dovodi do smanjenja emisije CO₂, što može pozitivno uticati na globalne klimatske promene. Uvođenje naprednog sistema za očitavanje dobici su opšti, lako uočljivi za svakog učesnika u naprednoj mreži (Smart Grids).

Tema ovog rada je deo naprednog sistema za očitavanje potrošnje čija je namena upravljanje podacima o potrošnji i njihovo skladištenje, skraćeno **MDM/R** (**M**eter **D**ata **M**anagement / **R**epository). Obrada i čuvanje velike količine podataka koja se generiše svakodnevno očitavanjem naprednih brojlara predstavljaju izazov sa stanovišta projektovanja **MDM/R** sistema i pronalaženja softverskih i hardverskih rešenja koja će svojim performansama zadovoljiti zahteve opterećenja. Pored sigurnog i trajnog čuvanja podataka o očitanoj potrošnji potrebno je pravovremeno odgovoriti na zahteve distributera i preduzeća koja vrše obračun i naplatu električne energije za dobijanje podataka o korisnicima i njihovoj potrošnji, bilo da se radi o sirovim podacima ili sumiranjima za određene periode. Iz pozicije **MDM/R** sistema kao posrednika između napredne merne infrastrukture (**AMI**) i zainteresovanih strana (potrošača, distributera i regulatornih agencija) proizilazi da **MDM/R** ne sme biti usko grlo naprednog sistema za očitavanje, već treba da ublažava i otklanja moguće nedostatke ostatka sistema koji se mogu javiti u vidu kašnjenja podataka ili nevalidnih očitavanja. Očekivano stalno povećavanje količine podataka koji se skladište i obrađuju u sistemu pretpostavlja skalabilnost sistema kao neophodnost. Sigurnost i raspoloživost podataka je od ključnog značaja za sve zainteresovane strane. Izbor prave HW/SW platforme za potrebe sistema za upravljanje podacima o potrošnji i skladištenje podataka je kritično za ostvarivanje definisanih ciljeva.

Ključne reči: AMI, MDM/R, AMC, napredno brojilo električne energije, MySQL Cluster

*aleksandar.mihajlov@pupin.rs



Slika 1 - Prikaz položaja MDM/R kao posrednika između napredne merne infrastrukture (AMI) i zainteresovanih strana (kupaca, operatora i regulatornih agencija)

SISTEM ZA UPRAVLJANJE PODACIMA O POTROŠNJI I NJIHOVO SKLADIŠTENJE (MDM/R)

Uloga **MDM/R** sistema kao posrednika između napredne merne infrastrukture (**AMI**) i zainteresovanih strana podrazumeva:

- Prijem i učitavanje podataka o očitanoj potrošnji poslatih od strane **AMCC**.
- Prijem i učitavanje ostalih podataka poslatih od strane **AMCC**, koji se pre svega odnose na propade i odstupanja napona, indikaciju ispada napajanja i razna upozorenja.
- Validaciju, editovanje i procenu podataka o očitanoj potrošnji.
- Skladištenje, upravljanje i održavanje podataka.
- Proširivost u pogledu potpune integracije sa ostalim informacionim sistemima/podsistemima elektrodistributivnog preduzeća (**IPS EDP**).
- Reviziju svih promenjenih podataka.
- Sledljivost podataka u okviru celokupnog **MDM/R** sistema.
- Sigurnost u upravljanju pristupom svim funkcijama i podacima.
- Obračun utrošene električne energije za svaku tačku isporuke zasnovan na različitim strukturama cena, uključujući u to, časovne i ostale specificirane periode tarifnih stavova.
- Podatke na osnovu unapred definisanog rasporeda ili po zahtevu.
- Prijem i upravljanje informacijama za podršku koje se razmenjuju između mernih mesta, naprednih brojila, elektrodistributivnog preduzeća i zainteresovanih trećih strana u okviru **MMD** podsistema.

Brojne vrednosti koje postavljaju okvirne uslove koje je potrebno uzeti u obzir pri projektovanju sistema se odnose na:

- Broj kupaca.
- Učestalost očitavanja naprednih brojila.

Očekivane vrednosti su prikazane za slučajeve velikog i malog opterećenja sistema, pri čemu su radi postizanja veće otpornosti sistema u testiranju korišćene vrednosti određene kao veliko opterećenje.

Broj potrošača je određen prema planiranom razvoju naprednog sistema za očitavanje potrošnje. U Tabeli 1 je odvojeno prikazan broj mernih tačaka (**POD**) koje se odnose na domaćinstva kod kojih ne postoje zahtevi u pogledu zahtevanog opterećenja od onih koje se odnose na privredne i industrijske kupce kod kojih postoje takvi zahtevi.

Tabela 1 - Očekivani broj potrošača/ broj mernih tačaka

Tip mernih tačaka	Opterećenje sistema	
	Veliko	Malo
Domaćinstva	1 000 000	300 000
Privredni i industrijski kupci	0	0

Učestalost očitavanja naprednih brojila uslovljava brzinu svakodnevnog rasta količine podataka koji se skladište u **MDM/R** sistemu. Ovaj tip podataka koji se odnose na očitana merenja zauzima najveću količinu memorije, tako da njihovo čuvanje i upravljanje njima predstavlja glavni izazov pri projektovanju sistema. Očekivani broj očitavanja po danu je dat u Tabeli 2 i vrednosti su odvojeno prikazane za domaćinstva i privredne i industrijske kupce.

Tabela 2 - Očekivani broj očitavanja naprednih brojila na dan

Očitavanja na dan za merne tačake	Opterećenje sistema	
	Veliko	Malo
Domaćinstva	24	24
Privredni i industrijski kupci	96	96

MYSQL CLUSTER KAO ODGOVOR NA POTREBE MDM/R

Kako bi uspešno odgovorio na funkcionalne zahteve gledane sa stanovišta količine podataka koja se obrađuje u **MDM/R** sistemu, on mora imati dobre performanse merene vremenom odziva, propusnom moći, i skalabilnošću. Od velikog značaja je sigurnost podataka i otpornost sistema na otkaze zbog velike važnosti informacija koje se čuvaju.

Vreme odziva predstavlja trajanje čekanja korisnika sistema da bude uslužen. Pojam korisnik predstavlja informacione sisteme strana uključenih u komunikaciju sa **MDM/R**-om, kao i operatora koji radi direktno na **MDM/R**-u. Vreme odziva je opisano maksimalnim vremenom odziva koje opisuje najgori slučaj i srednjim vremenom odziva koje predstavlja opštiju karakteristiku.

Propusna moć sistema meri koliko zahteva upućenih sistemu može biti uslužno u određenom vremenskom periodu.

Skalabilnost je karakteristika koja opisuje sposobnost prilagođavanja sistema povećanju količine podataka u sistemu i broja zahteva koji su mu upućeni. Ova karakteristika sistema je od naročitog značaja za **MDM/R** sistem zbog očekivanog stalnog uvećavanja količine podataka.

Sigurnost podataka se opisuje sistem sa stanovišta zaštite podataka od neovlašćenih lica. Podaci koji se čuvaju u sistemu su se odnose na poslovanje preduzeća i lične podatke potrošača, tako da sigurnosni propusti ne smeju da postoje.

Otpornost na otkaze se odnosi na stabilnost sistema u smislu da podaci koji se skladište ne smeju ni u kom slučaju biti izgubljeni, kao i da svi zahtevi korisnika budu opsluženi regularno u predviđenom roku.

Izbor tehnologije za upravljanje bazama podataka je stavka koja će u najvećoj meri uticati na performanse **MDM/R** sistema. Razmatra se **MySQL Cluster** kao rešenje koje može ispuniti uslove postavljene za sistem. Ova tehnologija pruža mogućnost da se dobiju odlične osobine sistema, pod uslovom da se predhodno usvoji konfiguracija hardvera (mreže, računara) i struktura baze koji su prilagođeni **MySQL Cluster**-u.

Strukturu **MySQL Cluster**-a čine tri tipa procesa koji se obično pokreću na različitim računarima i međusobno komuniciraju preko mreže:

- Skladišni čvor (*Data Node*) - proces koji je zadužen za skladištenje podataka.
- Upravljački čvor (*Management Node*) - proces koji služi za nadgledanje i podešavanje klastera.
- SQL čvor (*SQL Node*) - MySQL server ili aplikacija koja omogućava pristup podacima sa skladišnog čvora.

Vreme odziva klastera je globalno gledano lošije od vremena odziva drugih tipova organizacije baze podataka (u proseku 5 ms), što je uslovljeno činjenicom da su podaci raspoređeni na više skladišnih čvorova i da je potrebno ostvariti komunikaciju preko mreže između njih i SQL čvora. Ovaj problem se otklanja konfigurisanjem hardvera i strukture baze podataka tako da je prilagođena najčešće izvršavanim upitima nad bazom. U tom slučaju se najkritičniji upiti izvršavaju gotovo trenutno, dok je za neke druge moguće tolerisati lošije vreme odziva. Vremena odziva upita nad bazom dobijena merenjem u sistemu su data u Tabeli 3.

Tabela 3 - Vreme odziva klastera za različite tipove upita i količine podataka

Tip upita	Broj redova	Vreme odziva		
		Srednje	Minimalno	Maksimalno
„Insert“	1000	1,5 s	1,2 s	1,7 s
„Select“	100000	0,8 s	0,7 s	0,9 s
	300000	2,5 s	2,3 s	2,7 s
	800000	9,2 s	8,5 s	9,5 s

Propusna moć klastera prevazilazi potrebe **MDM/R** sistema. Kod većine tipova organizacije baze podataka usko grlo su operacije upisa i čitanja sa hard diska, dok je kod klastera koji podatke čuva u RAM memoriji usko grlo prenos preko mreže. Za operacije čitanja/upisa sa hard diskom je moguće ostvariti brzine protoka podataka od 1Mbps sa jednim korisnikom, 1,5 Mbps sa dva i 1,75 Mbps sa tri korisnika. Brzine protoka na mreži u istim uslovima su 1 Mbps sa jednim korisnikom, 2 Mbps sa dva i 3 Mbps sa tri korisnika. Moguće je povećavati broj korisnika bez umanjenja propusne moći dok se ne dostigne maksimalni protok za mrežu, što je pozitivno i sa stanovišta skalabilnosti.

Skalabilnost je još jedna osobina koja klaster čini poželjnim rešenjem za potrebe **MDM/R** sistema. Već su opisane pogodnosti koje pruža u pogledu povećanja broja zahteva za podacima. Što se tiče stalnog povećavanja količine podataka u sistemu, dovoljno je reći da je broj skladišnih čvorova moguće povećavati bez rizika od gubitka podataka i potrebe za prekidom u radu **MDM/R** sistema.

Sigurnost podataka se obezbeđuje ograničavanjem pristupom internetu. Podacima je moguće pristupiti samo preko SQL čvorova, koji jedini imaju pristup internetu obezbeđen nekom od poznatih tehnika zaštite sigurnosti.

Otpornost na otkaze se postiže organizacijom skladišnih čvorova tako da se čuva više kopija podataka na različitim čvorovima, tako da u slučaju otkaza nekog od njih ne dolazi ni do kakvih gubitaka ni prekida u opsluživanju zahteva korisnika. **MySQL Cluster** obezbeđuje mogućnost konfigurisanja ovakve organizacije, kao i automatskog oporavka od nekih problema.

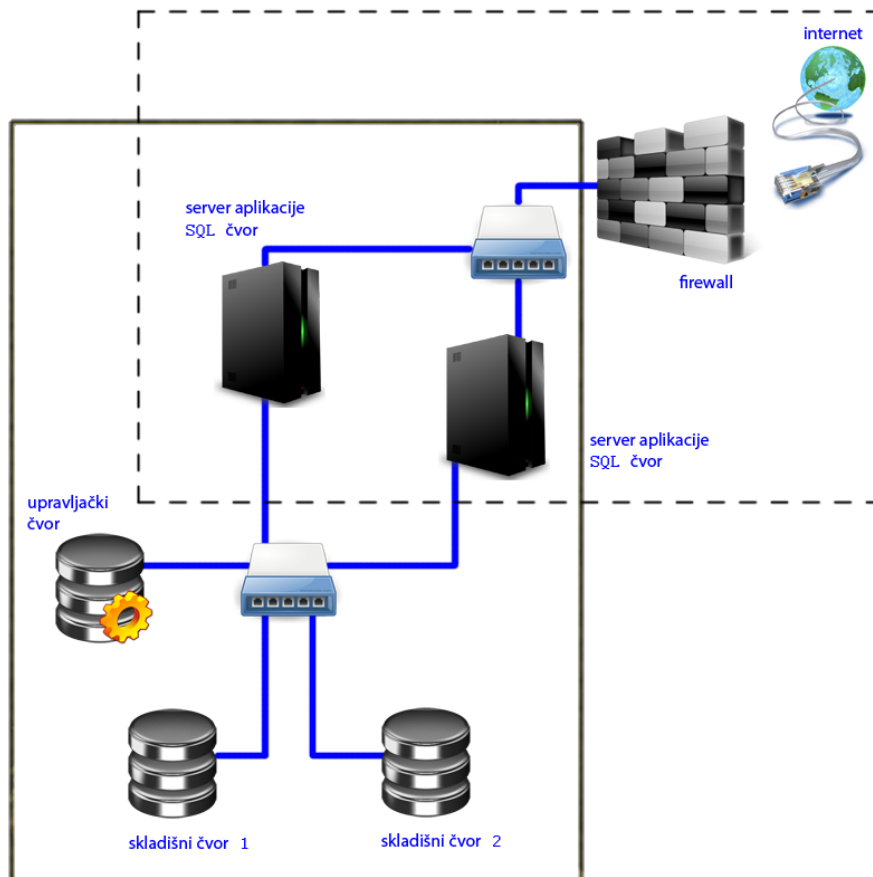
HARDVERSKA KONFIGURACIJA

Na Slici 2 je prikazana organizacija **MDM/R** sistema koja na najbolji način iskorišćava prednosti **MySQL Cluster**-a. Hardverska konfiguracija utiče na sigurnost podataka, vreme odziva sistema i otpornost na otkaze.

Iz razloga sigurnosti i poboljšanja vremena odziva klastera preporučljivo je postojanje dve odvojene mreže: privatne (uokvirena punom linijom) i javne (uokvirena isprekidanom linijom). Komunikacija između skladišnih i upravljačkog čvora nije bezbedna, pa je neophodno onemogućiti pristup spolja podacima koji se među njima razmenjuju. Ovakvom konfiguracijom podacima iz klastera je dozvoljeno

i jedino moguće sa interneta pristupiti preko server aplikacija. Pristup SQL čvorovima sa server aplikacijama od strane interneta je obezbeđeno konfigurisanjem *firewall*-a.

Vreme odziva se popravlja ovakvom organizacijom iz razloga što se na ovaj način uklanja internet saobraćaj koji bi zagušio mrežne resurse potrebne skladišnim čvorovima za prenos velike količine podataka između sebe tokom normalnog procesa rada klastera.



Slika 2 - Organizacija **MDM/R** sistema zasnovana na **MySQL Cluster**-u

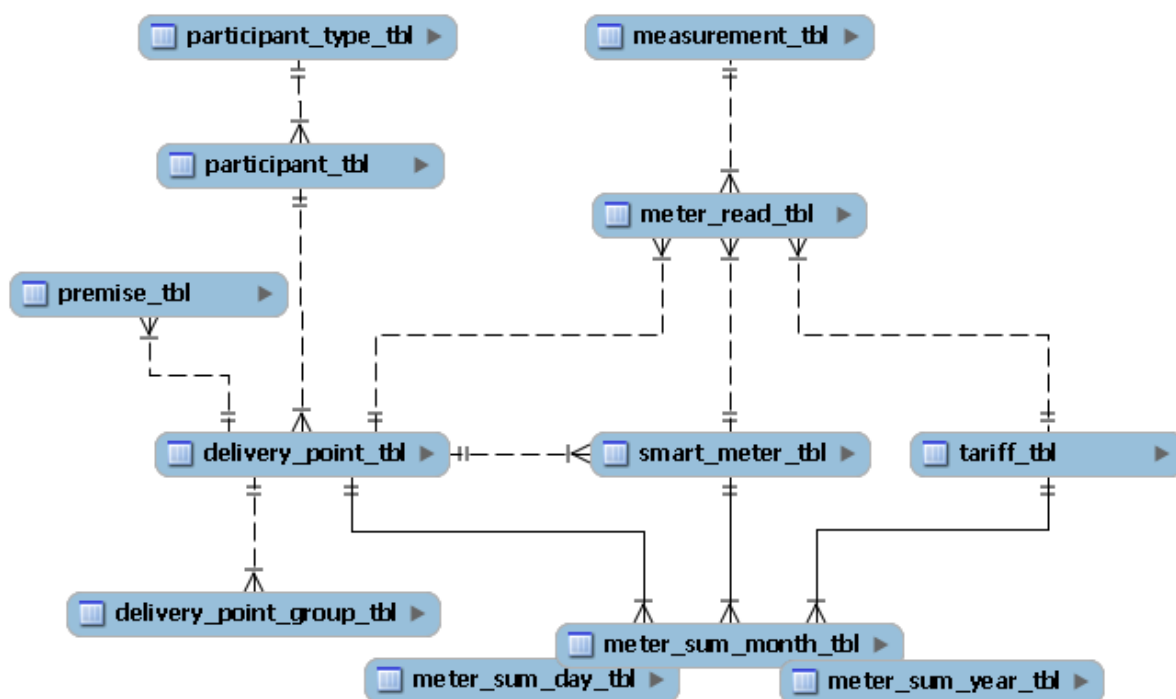
Prikazana konfiguracija sadrži dva skladišna čvorova, što je minimum da bi se obezbedila otpornost na otkaze. Povećavanjem broja skladišnih čvorova se dobija više prostora za smeštaj podataka, a moguće je i povećati broj redundantnih čvorova što stvara veću otpornost sistema. Broj skladišnih čvorova je moguće povećavati bez narušavanja stabilnosti i performansi sistema, pri čemu održavanje dobrih performansi zavisi od organizacije baze podataka o čemu se govori u narednom poglavlju. Preporučljivo je da se pri povećavanju prostora za smeštaj podataka dodaju novi skladišni čvorovi u paru zbog redundantnosti. U testiranju je korišćen sistem sa četiri skladišna čvorova, od kojih su dva redundantna.

STRUKTURA BAZE PODATAKA

U sistemu sa više skladišnih čvorova podaci su raspoređeni na računarima koji su međusobno povezani preko mreže. Određivanje na kom skladišnom čvoru se nalaze podaci i njihovo dopremanje sa više računara predstavlja značajan faktor za brzinu odgovora na upit upućen klasteru. Najkraće vreme odziva se postiže ako su traženi podaci smešteni na jednom skladišnom čvoru, poznatom pri upućivanju zahteva za njima. Razmeštaj podataka po skladišnim čvorovima i lakoća utvrđivanja relevantnog čvora zavise od strukture baze podataka. Ako je baza podataka pravilno projektovana broj skladišnih čvorova i njegovo povećanje nema velikog uticaja na kvalitet sistema.

Pretraživanje baze podataka je moguće izvršiti na više načina pri čemu se kao krajnosti izdvajaju pretraživanje po primarnom ključu i pretraživanje cele tabele. Pri pretraživanju po primarnom ključu

preko heš tabele, koristeći isti mehanizam kao pri raspodeli podataka po skladišnim čvorovima, brzo se dolazi do podataka. Pretraživanje cele tabele je vrlo sporo, ali i ono se može popraviti postavljanjem *WHERE* uslova upita tako da je moguće filtriranje podataka na svakom skladišnom čvoru pri kome nastaje poboljšanje usled smanjenja podataka koji se prenose mrežom.



Slika 3 - Organizacija baze podataka na kojoj je zasnovan **MDM/R** sistem

Baza podataka je organizovana prema potrebama sistema za očitavanje potrošnje, prilagođena zahtevima **MySQL Cluster** konfiguracije. Primarni ključevi u tabelama su izabrani prema najčešćim upitima koji se izvršavaju nad njima, kako bi se baza pretraživala najbržom metodom. Najzahtevniji upiti prema količini traženih podataka se odnose na očitana merenja. Procenjeno je da je dobijanje zbirnih podataka o potrošnji za dan, mesec i godinu najčešći razlog upita nad tabelom očitanih merenja. Kako bi ubrzali ovaj tip upita dodate su tabele sa sumarnim vrednostima očitanih merenja za dan, mesec i godinu koje se popunjavaju pri upisivanju u tabelu očitanih merenja ili naknadno u trenutku smanjene opterećenosti sistema. Ubrzanje se postiže smanjenom količinom podataka koju je potrebno preneti iz tabele, i izborom primarnog ključa u tabelama.

Opis tabele sa procenom količine podataka po tabelama u okvirima brojnih vrednosti datih ranije u opisu **MDM/R** sistema:

meter_read_tbl - Podaci o očitanoj potrošnji sa naprednih brojila. Očitavanja se vrše na sat vremena za domaćinstva i na 15 minuta za privredne i industrijske kupce. U pitanju je najveća tabela u bazi podataka.

measurement_tbl - Sadrži moguće merne jedinice. Sa naprednih brojila je moguće dobijati podatke o potrošnji električne energije, gasa, vode.

delivery_point_tbl - Podaci o mernoj tački. Vezuje podatke o potrošaču sa tarifom, mernim uređajem i distributerom.

delivery_point_group_tbl - Moguća je organizacija mernih tačaka po grupama. Tabela sadrži podatke o mogućim grupama.

participant_tbl - Učesnici u sistemu za očitavanje potrošnje: operatori, preduzeća koja vrše obračun i naplatu električne energije, potrošači.

participant_type_tbl - Podaci o tipu učesnika: operator, kupac, preduzeće koje vrši obračun i naplatu električne energije.

smart_meter_tbl - Tehnički podaci o naprednom brojilu.

tariff_tbl - Podaci o tarifama koje potrošač može koristiti.

premise_tbl - Podaci o adresi učesnika u sistemu za očitavanje potrošnje.

meter_sum_day_tbl, meter_sum_month_tbl, meter_sum_year_tbl - Zbirni podaci o očitanoj potrošnje za merne tačke.

Tabela 4 - količine podataka u bazi prema okvirima brojnih vrednosti datih u opisu MDM/R

Tabela	Opterećenje sistema		Opis
	Veliko	Malo	
<i>meter_read_tbl</i>	2,17 TB/y	0,65 TB/y	količina podataka koja se godišnje unese u tabelu
<i>delivery_point_tbl</i>	176 MB	52,8 MB	promena količine podataka posle početnog popunjavanja je zanemariva
<i>delivery_point_group_tbl</i>	104 MB	31,2 MB	promena količine podataka posle početnog popunjavanja je zanemariva
<i>participant_tbl</i>	60 MB	18 MB	promena količine podataka posle početnog popunjavanja je zanemariva
<i>smart_meter_tbl</i>	132 MB	39,6 MB	promena količine podataka posle početnog popunjavanja je zanemariva
<i>premise_tbl</i>	52 MB	15,6 MB	promena količine podataka posle početnog popunjavanja je zanemariva
<i>sumarne tabele (meter_sum_day_tbl, meter_sum_month_tbl, meter_sum_year_tbl)</i>	7,9 GB	2,37 GB	podaci se čuvaju za određeni vremenski period, data vrednost je maksimum

ZAKLJUČAK

Na izbor HW/SW platforme za **MDM/R** sistema je najviše uticala potreba za skladištenjem i obradom velike količine podataka. Razmatrana konfiguracija sistema koristi **MySQL Cluster** tehnologiju. Performanse sistema su posmatrane iz perspektive vremena odziva sistema, propusne moći, skalabilnosti, sigurnosti podataka i otpnosti sistema na otkaze. Nedostaci klastera se u dobro projektovanom sistemu ogledaju u lošijem vremenu odziva sistema u slučajevima kada je sistemu upućen zahtev za koji sistem nije optimizovan, tj. kao nedostatak je uska specijalizovanost sistema što uslovljava neophodnost dobrog planiranja jer svaka naknadna prilagođavanja mogu izazvati narušavanje performansi. Kako bi se dobio maksimum koji pruža **MySQL Cluster** tehnologija potrebna je detaljna analiza potreba korisnika i projektovanjem strukture baze podataka i konfiguracije hardvera prema njima.

LITERATURA

[1] - **MySQL Clustering** - Alex Davies, Harrison Fisk, **Mart 20, 2006.**