



---

## **СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕТО НА КОНТАКТНИ МРЕЖИ ЗА ПРОМЕНЛИВОТОКОВИ ТЯГОВИ МРЕЖИ**

**Райнер Матес**

[rainer.matthes@siemens.com](mailto:rainer.matthes@siemens.com)

**Сиенс АГ, Ерланген, Моцартштрассе 33 Б  
ГЕРМАНИЯ**

***Ключови думи:** контактна мрежа, контактен проводник, жизнен цикъл.*

***Резюме:** Захранването на електрическия подвижен състав (ЕПС) чрез контактна мрежа (КМ) е най-ефикасният, икономически най-изгоден и екологичен начин за наземен превоз на хора и стоки. Към настоящия момент не се вижда практическа възможност за замяната на електрическото захранване чрез КМ с други решения като захранване от система за съхраняване на енергия.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Приложението на нови методи и материали предоставя възможността за намаляване на инвестиционните разходи и всички разходи свързани с жизнения цикъл на оборудването за КМ. Особено атрактивно за операторите на ЖП инфраструктурата е спестяването на инвестиционни разходи. Значителна част от разходите за жизнения цикъл на КМ са разходите породени от експлоатация и поддръжка. Поради тази причина инвестиционните решения трябва да удовлетворяват капиталовложенията и експлоатационните разходи за КМ. За да отговори на изискванията на операторите на ЖП инфраструктурата, а именно намаляване на разходите и увеличаване на ефективността през жизнения цикъл Сиенс АГ разработи системата за КМ Sicat SX.

### **2. ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ, ПРАГ НА РЕНТАБИЛНОСТ И РАЗХОДИ ЗА ЖИЗНЕН ЦИКЪЛ**

Прагът за определяне на рентабилността от електрифициране на една линия в Европа е товар от 20 милиона тона годишно. Електрификацията на по-малко натоварени транспортни направления може да бъде икономически ефективна при пониски разходи за енергия, монтаж и инвестиции.

На особено критична оценка всеки път се подлагат решенията за инвестиционни разходи за електрификация на железопътните линии и по-специално разходите за стационарни съоръжения (КМ и подстанции).

Поради изтеклия полезен икономически живот на голяма част от ЖП линиите в Европа се налага те да бъдат обновени и модернизирани. В зависимост от компонентите, качеството на компонентите и натоварването на КМ експлоатационният ѝ живот може да се оцени от 40 до 70 години.

Разходите на жизнения цикъл включват:

- Разходи за производство (проектиране, планиране, материали и труд);
- Експлоатационни разходи и разходи на оператора (пренос на електроенергията, разходи за персонала и инфраструктурни такси);
- Разходи за поддръжка (планиране, оборудване и персонал);
- Разходи за извеждане от експлоатация (рециклиране, например сортиране на материалите на метали и неметали).

Изискват се икономически решения за изграждане на нови железопътни линии и рехабилитационни проекти. Операторите на железопътните инфраструктури са заинтересовани от ниски експлоатационни разходи, ниски разходи за поддръжка и от това, новите КМ и компоненти да бъдат съвместими със съществуващото инфраструктурно оборудване.

Ценоопределящите фактори при инвестиционните разходи за КМ се определят от количеството на опорите, използваните материали, например мед и стомана и обема на работата. Значимостта на разходите се определя от типовете на фундаментите и стълбовете, разстоянията на междустълбията, дължините на анкърните участъци и количествата компенсирани устройства и застъпванията.

Един от интензивно износващите се елементи от КМ е контактният проводник (КП), като неговият експлоатационен срок има решаващо влияние върху разходите за жизнения цикъл на системата. С увеличаването на износването на КП се увеличава и неговото електрическо съпротивление, в следствие на което се увеличават и загубите при пренасяне на електрическата енергия. При подмяната на КП се генерират високи разходи свързани със закупуване на материали, работа и разходи от пропуснати ползи, тъй като през това време ЖП линията няма да бъде експлоатирана. Поради това, износването на КП е от основно значение при определяне на разходите за жизнения цикъл на КМ [1].

### **3. МАТЕРИАЛИ ЗА КОНТАКТНИ ПРОВОДНИЦИ – ВИСОКАТА ЯКОСТ НА МАТЕРИАЛА УДЪЛЖАВА ЖИВОТА НА КОНТАКТНИЯ ПРОВОДНИК**

На практика изобретяването на високоякостния контактен проводник от медмагнезиева сплав е предпоставка за реализирането на КМ за скорости над 300km/h. В литературен източник [2] преди 22 години авторите докладват за развитието, производството и внедряването на нов материал от медо-магнезиева сплав в Германските железници. Благодарение на използването на този материал силата на опъване и скоростта на разпространение на вълната по КП могат да бъдат увеличени, повдигането може да бъде намалено, може да се подобри динамичният контакт при токоснемане, особено при използване на два и повече пантографа на ЕПС. Също така заради по-високата механична якост може да се подобри (редуцира) и износването на контактния проводник. Този материал е включен в спецификацията материали за КП към стандарта EN 50149.

С помощта на стенд за изпитване на КП бяха направени систематични изследвания на влиянието на контактната сила и стойността на тока спрямо износването на КП [3]. На базата на получените от симулацията резултати беше разработен и подход за моделиране на жизнения цикъл на КП. От симулациите се вижда, че при постепенно увеличаване на големината на тока, при непроменени други параметри (контактна сила и скорост на движение) при ток с големина 150 А степента на износване на КП намалява до минимум и съответно при повишаване на тока над

150А степента на износване се увеличава. По този начин беше отчетен ефект на смазване (при токоснемане), зависещ от големината на тока.

Определящото при износването на КП е механичната компонента, като с увеличаването ѝ се увеличава и износването на КП. Поради тази причина за добрата експлоатация (качествено токоснемане при движение) на КМ е необходимо контактната сила да бъде еднаква и равномерна.

При симулация с постоянна скорост на движение и промяна на контактния натиск и големината на тока се вижда, че степента на износване на КП от CuAg0.1e повече от 2 пъти по-голяма в сравнение с тази на КП от медно-магнезиева сплав. Предвид това можем да очакваме два пъти по-голям период на жизнения цикъл на медно-магнезиевия КП в сравнение с медно-сребърния КП. Приложението на КП от медно-магнезиева сплав, притежаващ по-добри характеристики, не се ограничава само до изграждането на високоскоростни КМ, но и при модернизация и реконструкция на съществуващи ЖП линии и нови проекти за скорости 120km/h и 230 km/h. Обикновено сечението на меден КП се избира да бъде 100мм<sup>2</sup>, но чрез използването на КП от медно-магнезиева сплав същото може да бъде редуцирано на 80мм<sup>2</sup>. Допустимото токово натоварване на мрежата се осигурява чрез използването на алуминиево-стоманено носещо въже с увеличено сечение.

Високата якост на материала на контактния проводник позволява:

- по-големи сили на опън и по-дълги разстояния в междустълбията;
- намаляване повдигането и подобряване динамичното взаимодействие между пантографа и КП;
- увеличаване на износоустойчивостта на КП и на жизнения цикъл на КМ.

#### **4. ПИЛОТНО НАБИВАНИ ФУНДАМЕНТИ – МЕТОД СПЕСТЯВАЩ РАЗХОДИ И ВРЕМЕ**

Чрез използването на новите методи на фундиране (пилотно-набивани тръбни фундаменти с потопяеми стълбове), увеличаване на разстоянието в междустълбията, използване на доказали се компенсирани устройства, увеличаване на анкърните участъци, стандартизиране на елементите от КМ и намаляване на количеството използвана мед във въжетата и проводниците, значително могат да се намалят и инвестиционните разходи. Чрез прилагането на новия метод за фундиране (тръбни фундаменти и потопяеми стълбове) се подобрява качеството, стабилността и жизнения цикъл на самите фундаменти като същевременно се съкращава и времето за монтажа и изграждането им.

Прилагат се различни видове пилотно-набивани фундаменти:

- фундамент изграден от забита тръба за стоманобетонни и стоманени стълбове монтирани върху или в него;
- фундамент изграден от забит стоманен пилот с бетонна глава за стоманени стълбове;
- фундамент от забит стоманобетонен пилот.

Благодарение на тези технологии времето за монтаж на фундамента и стълба може да се намали до 3 часа и да се осигури един непрекъснат инсталационен процес.

Тези методи са разработени преди 30 години и към настоящия момент намират широко приложение при монтажа на стълбове за КМ, стълбове за сигнализация, монтаж на шумоизолиращи огради, огради за новостроящи се линии, както и за модернизация на съществуващи линии.

Фундаментите изградени чрез забиване на пилоти са икономическа алтернатива на бетонните фундаменти, подходящи за места с добра латерална носимост на почвата при по-големи дълбочини, места с високи подпочвени води, както и места с ограничени пространства. Те изискват малки по обем изкопни работи, като по този начин се ограничават разместванията на почвата при критичните насипи. При използване на такъв вид фундаменти в градски участъци, забиването на пилотите се изпълнява по комбиниран вибрационен и пробивен метод, като по този начин се предотвратяват шума и вибрациите върху конструкциите на сградите.

## **5. Sicat SX – КОНТАКТНА МРЕЖА С НОВИ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗА ВИСОКИ ПОКАЗАТЕЛИ**

В правите участъци и за верижни контактни мрежи (ВКМ) с вертикална аранжировка на КП и носещо въже (НВ) над пътя, междустълбовото разстояние може да се увеличи до 75m - 80m. При такава аранжировка на КП и НВ по-дълги междустълбция не се допускат, тъй като при ветрови отклонения, КМ може да излезе от работната повърхност (плъзгача) на пантографа и да се наруши целостта и нормалната работа на системата.

Наклонено разположение на КП спрямо НВ (Коса ВКМ) позволява увеличаване на междустълбовите разстояния в криви и прави участъци.

Нововъведенията са следните:

- използването на медно-магнезиев КП;
- по-високи сили на опън на КП и НВ;
- използване на по-високи скорости;
- намаляване на сечението на КП и замяна на медните НВ със алуминиево-стоманени НВ;
- използването на помощи средства за изчисляване на конзолите, КМ и струни монтажът на контактната мрежа не се нуждае от допълнителна настройка и регулиране преди пускане в експлоатация.

Новите конструктивни принципи за изграждане на КМ са съобразени и се прилагат съгласно актуалните нормативи и директиви за транспортна и оперативна съвместимост в ЖП транспорта с типичните функционални характеристики, като зигзаг на КП, допустими ветрови отклонения на КМ, динамично поведение и максимална скорост.

Сименс АГ разработи системата Sicat SX за високоскоростни конвенционални ЖП линии до 230km/h. Резултатите от изпитанията на Sicat SX (симулация на динамично взаимодействие между КМ и 2 пантографа на разстояние 200m един от друг) показваха, че тази система е приложима и за скорости до 250 km/h. ВКМ е съставена от следните КП и НВ:

- Контактен проводник: EN50149 AC-80-CuMg0,5 (мед-магнезий)
- Носещо въже: EN50182 97-AL3/56-A20SA (алуминий-стомана)

Такъв тип КМ е в редовна експлоатация от 2010 г. в Унгария на линията Bajánsenyő v.m. - Bobavá. на MÁV и към настоящия момент относно работата ѝ няма оплаквания.

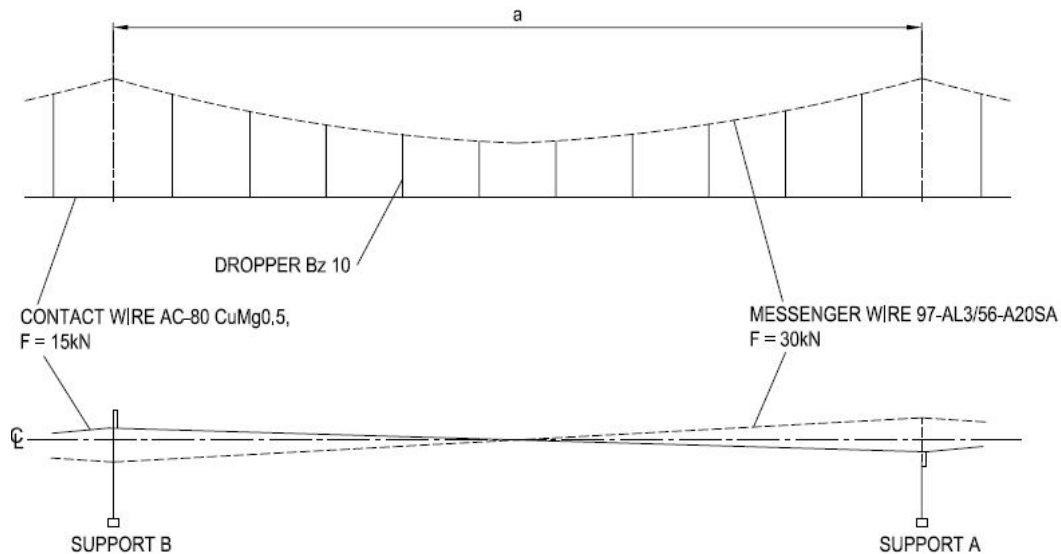
През 2015 г. Сименс АГ получи поръчка с предмет: „Програма за Електрификация на Дания”, която предвижда за период от 10 години електрифицирането на главните ЖП линии на Дания. Предвидената за използване

система за ВКМ е Sicat SX. Към настоящия момент в процес на изграждане е двупътният участък между Lunderskov и Esbjerg.

Системата за ВКМ Sicat SX се проектира за климатични условия представени по- долу. Възможни са модификации на системата в зависимост от проекта.

- температурен диапазон:  $-30^{\circ} \text{C} \leq T \leq 40^{\circ} \text{C}$ ;
- максимална скорост на вятъра: 33, m/s;
- слънчева радиация:  $1120 \text{ W/m}^2$ ;

ВКМ Sicat SX за междуствълбие с дължина 100m е показано на фигура 1.



Фиг. 1 Контактна мрежа тип Sicat SX

Таблица 1. Технически спецификации на използваните проводници и въжета

Система контактна мрежа Sicat SX	
<b>Контактен проводник</b> съгл. EN 50149	CuMg0,5
Тип	AC 80 mm <sup>2</sup>
Минимален разрушаващ товар	40,4 kN
Работно натягане	187,5 N/mm <sup>2</sup>
Сила на опъване	15 kN
Специфично тегло	0,71 kg/m
Скорост на разпространение на вълната	523 km/h
Максимално допустимо износване	20 %
<b>Носещо въже</b> съгл. EN 50182	97-AL3/56-S20SA
Разрушаваща сила	96,03 kN
Сила на опъване	30 kN
Специфично тегло	0,64 kg/m
<b>Струнен проводник</b>	въже BzII 10 mm <sup>2</sup> , 7x7x0.51
<b>Проводник средна анкеровка</b>	EN 50182 97-AL3/56-S20SA
<b>Z-проводник</b>	въже BzII 70x19x2,10 DIN 48201
<b>Струна опорна точка</b>	въже 6 DIN3060-SE-BK1570SZ-1.4401
<b>Тегло на КМ</b>	1,42 kg/m = 13,9 N/m
<b>Тегло на КМ с 20% износване на контактния проводник</b>	1,275 kg/m = 12,51 N/m

Въжетата за захранващи и обратни фидери се избират в съответствие с изискванията на проекта. Може да бъдат използвани и алуминиеви или алуминиево-стоманени проводници, например EN50182 243-AL, EN50182 97AL3/56-A20SA или EN50182 94-AL3/15-ST1A.

За компенсиране на промените в дължините на КП и НВ породени от температурата, същите се натягат поотделно. Максималната дължина на анкърното поле е 2000m.

Максималната основна дължина на междустълбието за оразмеряването и проектирането на системата на ВКМ е 100m. Конструктивната височина на системата на ВКМ е 1,4 m, като е проектирана без ресорни струни с максимален зигзаг на КП при опорите 300mm. Максималното странично разстояние между КП и НВ е определено на 0,80m.

Използваните струни са токоустойчиви и са изработени от усукано бронзово въже. С помощта на софтуерната програма Candrop се изчислява дължината на ВКМ, дължините и позицията на струните. Това улеснява монтажа и позволява ВКМ лесно да бъде регулирана.

ВКМ се проектира като наклонена КМ, което означава КП и НВ заемат различни странични позиции във всяка опорна точка.

Продължителното токово натоварване 639А е определено при максимална температура на околната среда 40°C и допустима температура на КП 80°C. Токът на к.с. 26,1 kA е изчислен при случай на продължителност на токовото натоварване от 0,1 s и за КП с 20 % износване. Разпределението на токовото натоварване между КП и НВ е еднакво при нови проводници и с 3 % по-високо за НВ при износен с 20% КП.

В зависимост от изискванията за изграждане въздушните междини (в зоната за анкериране на ВКМ), те се проектират като нормални или изолирани. ВКМ в зоната на въздушните междини е перпендикулярна. В прави ЖП линии и с радиуси на кривите по-големи от 1500m въздушните междини в зоната на анкериране се проектират в две междустълбиа.

За радиуси по-малки от 1500 m въздушните междини се проектират в 3 междустълбиа. Минималното повдигане на контактния проводник на конзолите е 0.25m. Разстоянието между контактните проводници във въздушните междини е 0.20m. Изолираните въздушни междини се изграждат като три междустълбови изолирани секции. КП се повдига на 0,4 m при опорната точка и отстоянието на КП е определено на 0,45 m. Всички джъмперии захранващивръзки се изпълняват с гъвкав проводник от медно сребърна сплав CuAg0,1 95x295.

Воздушните междиниса съоръжени с автоматични компенсиращи устройства състоящи се от опъващи колела и комплект тежести. Компенсиращи устройства със задържащи /блокиращи/ устройства имат преводно отношение 1:1,5 и максимална опъваща сила 45kN. НВ и КП се обтягат поотделно с комплект компенсиращо устройство за всеки проводник. За анкърнополуполеот1000m и температурен диапазон от 110 K контактният проводник се разширява в диапазонот 1,87 m. При същите условия дължината на носещото въже се увеличава в диапазон от 1,86 m. Компенсиращото устройство от типа 8WL5071-0В осигурява максимална компенсация от 2,30 m.

Доказалите се в практиката корозионно-устойчиви материали, като например лят алуминий, стандартизирането и намаляването на количеството различни компоненти и прилагането на универсални крепежни и присъединителни елементи характеризират нашето портфолио, което беше приложеноев проекта за електрификация на отсечката Първомай – Димитровград в България. През 2011 г. участъкът Първомай – Димитровград беше оборудван с оперативно съвместима контактна мрежа от типа Sicat S. През 2012 г. участъкът беше пуснат в експлоатация и до днес показва безаварийна работа и допринася за модернизацията на ЖП транспорта в България като го прави конкурентен [5].

Модерните инструменти за проектиране улесняват изчисляването на материалите, разпределението, организацията на монтажа и гарантират изпълнение без необходимост от допълнителни настройки и преработване.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на висококачествени компоненти в системата за КМ Sicat SX позволява редуциране на ценоопределящите фактори при инженеринга (броя на опорите и компенсиращите устройства, материалите от мед и обема от работа за единица дължина на участъка).

Използването на високоякостен медно-магнезиев КП намалява степента на износване и усилието по поддръжката. КП от медно-магнезиева сплав ще увеличи значително жизнения цикъл в сравнение с КП от мед.

Системата за КМ Sicat SX е едно уникално решение, което е сертифицирано в съответствие с „ТСО Енергия” и е готово за приложение при модернизацията на стари и изграждането на нови ЖП линии.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kießling, F.; Puschmann, R.; Schmieder, A.; Contact Lines for Electric Railways. 2001 Publicis Corporate Publishing, Munich Erlangen
- [2] Bausch, J.; Kießling, F.; Semrau, M.: Hochfester Fahrdrabt aus Kupfer-Magnesium legierung (High-strength contact wire made of copper magnesium alloy). In: Elektrische Bahnen 92 (1994) 11, pp. 295 to 300
- [3] Becker, K.; Resch, U.; Rukwied, A.; Zweig, B.-W.: Lebensdauer modellierung von Oberleitungen (Modelling of the life cycle of overhead contact lines). In: Elektrische Bahnen 94 (1996) 11, pp. 329 to 336
- [4] Kökényesi, M.; Kunz, D.: Oberleitung Sicat SX – Zulassung und Betriebserfahrungen in Ungarn (Overhead contact line Sicat SX- Approval and operational experience in Hungary). In: Elektrische Bahnen 111 (2013) 6-7, pp 440 to 444
- [5] Balomiri, A.; Matthes, R.: Elektrifizierung der Strecke Parvomai – Dimitrovgrad in Bulgarien (Electrification of the Parvomai – Dimitrovgrad Line in Bulgaria). In: Elektrische Bahnen 111 (2013) 6-7, pp. 386 to 391

## TOPICAL TRENDS IN THE OVERHEAD CONTACT LINE ENGINEERING FOR AC-RAILWAYS

**Rainer Matthes**

[rainer.matthes@siemens.com](mailto:rainer.matthes@siemens.com)

**Siemens AG, Erlangen, Mozartstr. 33 B  
GERMANY**

**Key words:** *overhead contact line, contact wire, lifecycle.*

**Abstract:** *Electrical traction with then energy supply by overhead contact lines is the most efficient, most economic and environmentally friendly mean of land transport for persons and goods. The replacement of electrical traction with contact lines by energy storage solution other traction types is not visible.*