



Strål  
säkerhets  
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Myndighetsrapport

# Magnetfält runt nätstationer

## 2021:12

**Författare:** Jelena Stojadinovic, Karl-Arne Markström, Eskil Bendz  
AFRY, Solna

**Rapportnummer:** 2021:12

**ISSN:** 2000-0456

**Tillgänglig på** [www.ssm.se](http://www.ssm.se)



## SSM perspektiv

### Bakgrund

Transformatorstationer (TRAFO) kan i sitt närområde ge starkt förhöjda magnetfält. Ibland placeras sådana stationer relativt nära bostadsmiljöer och även stationer placerade i bostadshus förekommer. De stationer som placeras på detta sätt är stationer som ger en spänningstransformation från ca 11 kV ner till 400 V som är den fasspänning som finns i våra bostäder (detta motsvarar 230 V mellan fas och nolla). Stationerna ger vanligtvis tydligt förhöjda fält inom några meters avstånd så det är endast stationer placerade relativt nära bostadsmiljöer som på ett betydande sätt bidrar till människors exponering.

För ett antal år sedan presenterade Strålsäkerhetscentralen (STUK) som är den finska motsvarigheten till Strålsäkerhetsmyndigheten en studie av magnetfältsnivåer i närområdet till transformatorstationer i flerbostadshus. STUK observerade vid dessa mätningar magnetfältsnivåer som vida överskred gällande referensvärdesnivåer. Syftet med denna studie var att undersöka hur det ser ut i Stockholm. Uppdraget inkluderade såväl en kartläggning av transformatorstationer inbyggda i flerbostadshus som att beskriva nivåerna för exponering av uppkomna magnetfält.

### Resultat

Det visade sig att det var svårt att genomföra en kartläggning av det totala antalet TRAFO:s som ligger placerade så att de ger en tydligt förhöjd magnetfältsexponering till boendemiljöer och följaktligen brast även studien när det gäller att ge information om hur fördelningen mellan olika designkategorier ser ut i Stockholm.

Det visade sig också vara svårt att få tillgång till stationer som var placerade i direkt anslutning till eller i bostadshus. Mätningar har utförts på fem objekt i Stockholmsområdet. Inget av dessa objekt har varit stationer inhysta i bostadshus eller i direkt anslutning till bostadshus/kontorshus.

Samtliga undersökta stationer var utförda enligt äldre praxis och standarder för byggsätt. Inget av de undersökta objekten har alltså varit designat för att begränsa exponeringen för magnetfält. Det innebär att resultaten rimligen ger en bra bild av ett värsta fall scenario för de bostäder som finns i anslutning till eller inhyser sådan station. Det framgår att mycket nära väggen på lågspänningssidan av stationerna kan magnetfälten i vissa fall ligga i nivå med gällande referensvärden men redan på några få decimeters avstånd har fälten reducerats till nivåer som har marginal till referensvärdena. På några meters avstånd är exponeringen vanligtvis nere på de magnetfältsnivåer som vanligtvis förekommer i bostäder.

Ett viktigt resultat är att byggsättet har en stor inverkan på exponeringen av magnetfält. Exempelvis finns risk för att stora lokala fältkoncentrationer uppstår när strömskenor som ligger nära väggar leder starka strömmar. En observation som rapporterades var att det verkar som själva transformatorerna många gånger utgör en underordnad källa för

exponering jämfört med fördelningsskenor och kablar. Det medför att förbättringar primärt kan erhållas genom skärmning av magnetfält och en mer ändamålsenlig utformning av lågspänningsställverk inklusive fördelningar och kablar. Det framgår att de uppmätta magnetfälten avtar kvadratisk i styrka med avståndet från transformatorn.

### **Relevans**

Den undersökta typen av TRAFO:s (transformering från ca 11 kV till 400 V) ger i sitt närområde men endast där en tydligt förhöjd magnetfältsnivå. Endast i undantagsfall når fältnivåerna referensvärdesnivåer men resultaten indikerar att det inte är osannolikt att TRAFO:s inhysta i bostadshus eller i direkt anslutning till bostadshus i Sverige ger nivåer som tydligt överskrider de exponeringsnivåer som vanligtvis finns i bostadshus. Det är miljöbalken<sup>1</sup> som ska beaktas när det görs en bedömning av eventuella behov av exponeringsbegränsande åtgärder. Skälet till att miljöbalken blir tillämplig är för att det rör sig om magnetfält från kraftöverföring som enligt balken benämns som miljöfarlig verksamhet och som inte är tillståndspliktig enligt strålskyddslagen.

Ett viktigt resultat av studien är att de observationer som rapporterats inte tyder på att exponeringsnivåerna i bostäder i Stockholm skulle kunna påverkas på samma sätt som den finska studien observerat i bostäder i Finland. Detta gäller alltså även då äldre praxis och standarder för byggsätt använts. Nyare byggsätt förväntas dessutom ge tydligt lägre exponering.

### **Behov av vidare forskning**

Denna studie har enbart tittat på TRAFO:s placerade utomhus i Stockholmsområdet. En större studie som också innefattar inhysta TRAFO:s och också i mindre svenska städer skulle ge mera komplett bild av situationen i Sverige. Utifrån myndighetens kunskap är det dock på glesbygden ovanligt med inhysta TRAFO:s och studien indikerar att denna typ av TRAFO vanligtvis ger obetydlig exponering till omgivningen om vi undantar det absoluta närområdet.

Förekomsten av nätstationer i anslutning till skolor och förskolor bör särskilt kartläggas.

### **Projektinformation**

Kontaktperson SSM: Torsten Augustsson

Referens: SSM2019-4427

---

<sup>1</sup> Miljöbalken [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808\\_sfs-1998-808](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808)



Strål  
säkerhets  
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Jelena Stojadinovic  
Karl-Arne Markström  
Eskil Bendz

AFRY, Solna

# 2021:12

## Magnetfält runt nätstationer

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM. De slutsatser och synpunkter som presenteras i rapporten är författarens/författarnas och överensstämmer inte nödvändigtvis med SSM:s.

# Sammanfattning

Föreliggande rapport omfattar mätningar och studier av magnetfält runt nätstationer med syftet att uppskatta nivåer av magnetfält i närliggande flerbostadshus.

Dels har teoretiska studier med användning av approximativa samband härledda ur branschpraxis tillämpats, dels har mätningar vid nätstationer utförts på ett antal objekt som det kunnat fås tillgång till. Genom dessa beräkningar och mätningar så har det gått att få en uppfattning om hur byggsätt och stationsstorlek påverkar magnetfältsexponeringen.

Ingen av de stationer som har kunnat fås tillgång till har använt några särskilda åtgärder för att minska magnetfälten, vilket kan hänvisas till att samtliga stationer är utförda enligt äldre praxis och standarder för byggsätt.

Mätningar har sammanfattningsvis utförts på fem objekt. Där inget av objekten har varit designat för att begränsa exponeringen av magnetfält.

De viktigaste resultaten är att byggsättet har en stor inverkan på exponeringen av magnetfält, så att när skenor som för höga strömmar ligger nära väggar uppstår stora lokala fältkoncentrationer.

I samband med denna typ av installationer så visar resultaten trots detta att endast i undantagsfall kan fältstyrkor observeras vilka tangerar referensvärdena.

Genom svårigheter att få tillgång till lämpliga mätobjekt så har urvalet av stationer blivit kraftigt begränsat. Inget av de besökta objekten ligger i direkt anslutning till flerbostadshus eller kontorshus, då det inte har funnits någon möjlighet att få tillgång till denna typ av objekt. Detta kan sannolikt förbättras, förslagsvis genom en bättre dialog med nätägare, byggherrar och fastighetsägare.

Några slutsatser som kan dras är att själva transformatorerna utgör en underordnad källa för exponering jämfört med fördelningsskenor och kablar, samt att förbättringar primärt kan erhållas genom magnetisk skärmning och en mer ändamålsenlig utformning av lågspänningsställverk inklusive fördelningar och kablar. Det framgår att de uppmätta magnetfälten avtar kvadratisk i styrka med avståndet från transformatorn.





# Innehåll

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Sammanfattning</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>1. Introduktion</b> .....                                       | <b>3</b>  |
| 1.1. Bakgrund .....  | 3         |
| 1.2. Syfte .....   | 3         |
| 1.3. Metod .....   | 3         |
| <b>2. Kartläggning av nuläge och utveckling inom området</b> ..... | <b>5</b>  |
| 2.1. Förutsättningar gällande referensvärden .....                 | 5         |
| 2.2. Konstruktionspraxis .....                                     | 6         |
| 2.3. Utveckling hos transformator tillverkare .....                | 7         |
| 2.4. Trender inom användning av nätstationer .....                 | 9         |
| 2.5. Extremfall vid dimensionering .....                           | 9         |
| 2.6. Konsekvenser av förändrade byggsätt .....                     | 11        |
| 2.7. Moderna byggsätt .....  | 15        |
| 2.8. Valet mellan lågspännings- och högspänningsabonnemang .....   | 15        |
| <b>3. Beräkningar</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>4. Intervjuer</b> .....   | <b>18</b> |
| 4.1. Frågeställningar .....  | 18        |
| 4.2. Intervju Jakob Engström .....                                 | 19        |
| 4.3. Intervju Bo Alfredsson .....                                  | 19        |
| 4.4. Intervju Peter Östberg .....                                  | 20        |
| 4.5. Underlag som ej varit möjligt att erhålla .....               | 20        |
| <b>5. Mätningar</b> .....  | <b>21</b> |
| 5.1. Likriktarstation Sveavägen 5 .....                            | 21        |
| 5.2. Bersågränd 5 .....  | 25        |
| 5.3. Maria Skolgata 50 .....                                       | 30        |
| 5.4. Sorögatan 27 .....  | 34        |
| 5.5. Torshamnsgatan 25 .....                                       | 39        |
| 5.6. Sammanställning av mätobjekten .....                          | 44        |
| <b>6. Analys och slutsatser</b> .....                              | <b>45</b> |
| <b>7. Fortsatt arbete</b> .....                                    | <b>46</b> |
| <b>Referenser</b> .....  | <b>47</b> |
| <b>Appendix</b> .....  | <b>48</b> |
| A. Härledning approximativt uttryck för magnetisk flödestäthet ... | 48        |
| B. Direktiv från Ellevio till fastighetsägare och byggherrar ..... | 51        |

# 1. Introduktion

## 1.1. Bakgrund

Strålsäkerhetscentralen (STUK) är en finsk myndighet som övervakar strål- och kärnsäkerheten. Dess mål är att skydda människorna, samhället och miljön. STUK har på så sätt motsvarande uppgifter som Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har i Sverige. I en rapport från 2015 redovisar STUK mätningar och undersökningar gällande magnetfält från transformatorstationer i flerbostadshus (Puranen, 2015). STUK har funnit att exponeringen av magnetfält i vissa fall är starkare än rekommenderat.

## 1.2. Syfte

SSM har gett AFRY i uppdrag att göra en motsvarande kartläggning gällande situationen i Sverige. Resultatet presenteras i denna rapport.

Uppdraget innebär att utföra en kartläggning av transformatorstationer inbyggda i flerbostadshus och beskriva nivåerna för exponering av uppkomna magnetfält.

Följande frågeställningar omfattas av uppdraget:

- Sammanställa vilka sätt som tidigare, nuvarande och kommande konstruktioner för denna typ av elanläggningar har påverkat eller påverkar exponeringen.
- Förekommer det arbete hos leverantörer och projektörer för att reducera exponeringarna genom konstruktionspraxis?
- Sammanfatta rekommendationer för framtida konstruktioner.
- Göra en översiktlig teoretisk studie (simulering) om fältfördelningen runt typiska konfigurationer. Jämföra teoretiska värden med ett urval av mätningar i Stockholm. (Jämförelsen ej utförd pga av liten tillgång till anläggningar att mäta på. Se kapitel för Analys och Slutsatser.)
- Kartlägga antalet transformatorstationer inomhus som orsakar förhöjda magnetfält i bostäder i Stockholm stad genom att utgå från typfall och information från elnätsägare om placering och eventuell skärmning.
- Dela in transformatorstationer i grupper utifrån lågspänningsdelens design, baserat på deras magnetfältsexponering.
- Analysera de systematiska variationerna i exponering beroende på anläggningarnas geometri.

## 1.3. Metod

Val av metod för utredningen i denna rapport görs genom följande struktur:

- Kontakta och intervjua branschorganisationer och elnätsägare.
- Litteraturstudier av publicerat material.
- Göra teoretiska uppskattningar av vilka exponeringsnivåer som kan vara typiska för olika konfigurationer.
- Göra praktiska mätningar av exponeringsnivåer som är typiska för olika installationer.
  - Mät två (2), eller fler, typfall.

- Mät två (2), eller fler, värsta fall (det är fördelaktigt att genom elnätsägare hitta transformatorstationer som antas ge förhöjda magnetfält i bostad och som planeras åtgärdas i närtid).
- SSM:s mätinstrument används för att utföra mätningarna.
- Mätobjekten väljs med hjälp av Ellevio för att representera oskärmade transformatorstationer som är lättillgängliga.

## 2. Kartläggning av nuläge och utveckling inom området

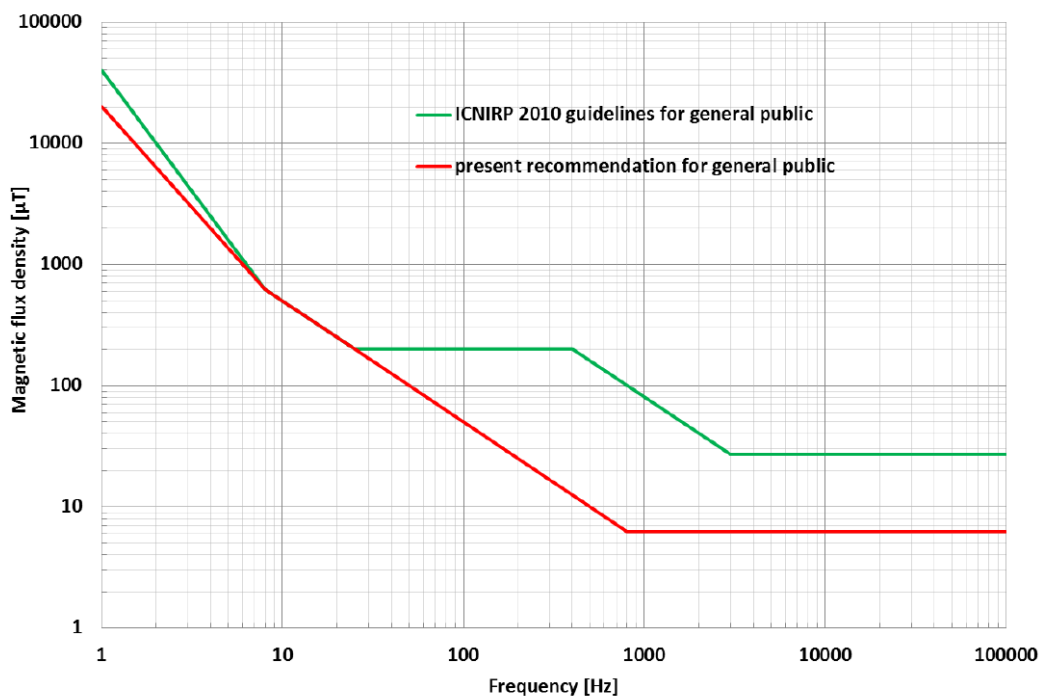
### 2.1. Förutsättningar gällande referensvärden

Det finns allmänna riktlinjer från internationella organisationen ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), som anger referensvärden för allmänhetens exponering för magnetfält. Referensvärdena är rekommenderade maxvärden och bygger på riktlinjer från EU. Syftet med referensvärdena är att skydda allmänheten mot alla säkerställda hälsoeffekter vid exponering för magnetfält. Referensvärdena är satta till en femtiondedel (1/50) av de värden där man har konstaterat negativa hälsoeffekter.

För enkelhets skull används i denna rapport ordet magnetfält som då avser magnetisk flödestäthet.

I Figur 1 visas de referensvärden som sammanfattas i STUK-rapporten (Puranen, 2015). Grön linje representerar ICNIRP riktlinjer från 2010 och röd linje visar ursprungliga riktlinjer från 1998. Gränsvärdena för exponering av magnetfält har alltså höjts. ICNIRP ger riktlinjer och EU ger rekommendationer baserat på riktlinjerna. EU:s riktlinjer följer ICNIRP 1998.

För magnetfält med frekvensen 50 Hz är referensvärdet 200  $\mu\text{T}$  (grön linje) respektive 100  $\mu\text{T}$  (röd linje).



Figur 1. Referensvärden för magnetfältsexponering av allmänheten (Puranen, 2015).

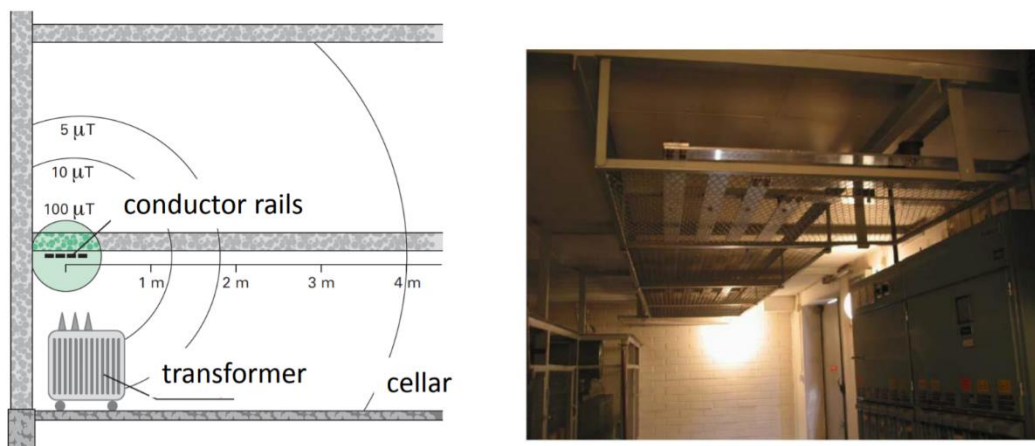
## 2.2. Konstruktionspraxis

En förberedande frågeställning gäller att ta reda på vilka sätt som tidigare, nuvarande och kommande konstruktioner för denna typ av elanläggningar har påverkat och påverkar exponeringen av magnetfält.

En typ av konstruktion som identifierats som bekymmersam kan ses i Figur 2 (Puranen, 2015). Bilden visar magnetfält i en lägenhet ovanför transformatorstationen. Magnetfälten orsakas av strömmar som flyter i lågspänningsledningarna mellan transformator och lågspänningsställverk. Den design som visas i figuren är ogynnsam genom att det är nära till övervåningen från strömskenorna.

Mätvärden vid 50 Hz för en 1000 kVA transformatoranläggning uppgick dagtid till 130  $\mu\text{T}$  och nattetid till 400  $\mu\text{T}$ . Mätningarna utfördes i våningen ovanför transformatorn. Sådana mätvärden är över de rekommenderade riktlinjerna enligt Figur 1.

Andra mätningar för en 800 kVA transformatoranläggning uppgick till 13  $\mu\text{T}$  vid 50 Hz.



Figur 2. Magnetfält orsakade av transformatoranläggning i källare till bostadshus (Puranen, 2015).

El-projektörer (Engström, 2019) menar att utvecklingen inom ställverksbyggnad går emot att uteslutande använda plåtkapslad moduluppbyggd materiel.

Tidigare realiseringar med öppen uppbyggnad och friliggande samlingsskenor förekommer knappt längre.

Ellevio menar att dimensioneringen i dagsläget av nätstationer i flerbostadshus är sådan att de sällan har ett sammanlagrat effektuttag överskridande 400 kVA eller en högsta ström av 630 A på lågspänningssidan, där de lägre strömmarna minskar riskerna för höga magnetfält.

En konsekvens av ovan redovisat arbete blir att undersöka om det förekommer arbete hos leverantörer och projektörer för att reducera exponeringarna genom konstruktionspraxis, samt att identifiera rekommendationer för framtida konstruktioner.

Modern konstruktionspraxis använder kapslade samlingsskenor och stigare, där skenorna sitter så tätt emot varandra som möjligt. Denna typ av konstruktion minskar fälten runt skenorna.

Arbete förekommer även för att förhindra och minska vagabonderande strömmar i vatten- och avloppsrör samt armering.

Rekommendationer för framtida konstruktioner är att tillämpa moderna byggsätt, samt använda skärmningsåtgärder där sådana är befogade. Placering av ställverk, transformatorer, centraler och större kabelförband, i förhållande till utrymmen där människor befinner sig stadigvarande är väldigt viktigt.

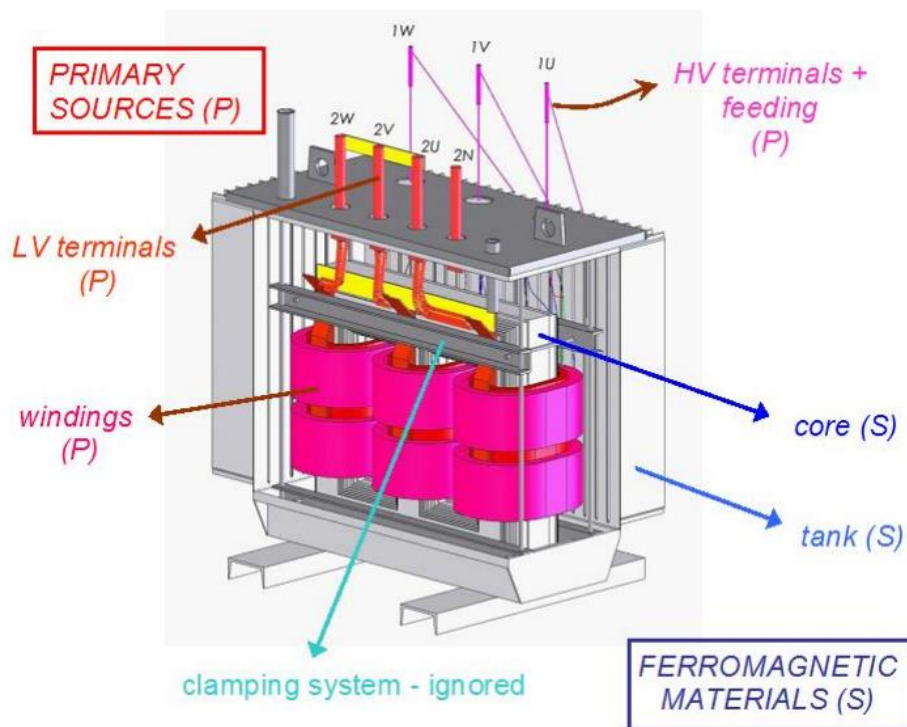
### **2.3. Utveckling hos transformator tillverkare**

Transformator tillverkarna arbetar ständigt med att nedbringa läckfälten runt transformatorerna, eftersom dessa ger upphov till förluster.

Simuleringar och mätningar på moderna transformatorer av den storleksklass som förekommer i nätstationer understigande 400 kVA finns att tillgå (Branimir Cucic, 2009).

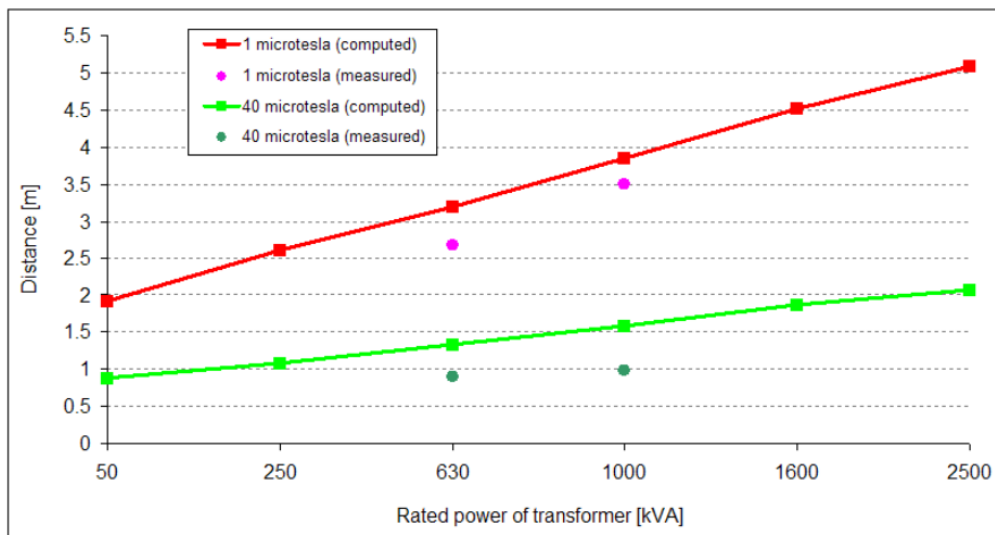
Huvudtransformator delar som är relevanta för beräkningen av magnetfältet är följande:

- lindningar
- lågspänning (nedan kallas *LV terminals*)
- högspänning (nedan kallas *HV terminals*)
- kärna
- tank
- klämsystem



Figur 3. Schematisk översikt av modern kärntransformator (Branimir Cucic, 2009).

En förenklad modell av en modern kärntransformator användes för att beräkna magnetfältet (Branimir Cucic, 2009) för oljeisolerade transformatorer med olika storlekar i intervallet 50-2500 kVA. Syftet var att beräkna det minsta avstånd från transformatorn som krävs för att uppnå ett visst värde på magnetfältet. De beräknade avstånden för nivåerna  $1 \mu\text{T}$  och  $40 \mu\text{T}$  redovisas i Figur 4. De beräknade avstånden kompletterades med uppmätta värden för transformatorer med storlekarna 630 kVA och 1000 kVA.



Figur 4. Förhållandet mellan transformatorstorlek och minimum-avstånd för att underskrida olika magnetfältsnivåer under oskärnade förhållanden (Branimir Cucic, 2009).

Resultaten av dessa beräkningar visar att läckfälten runt en transformator kan försummas på de avstånd som förekommer i nätstationer jämfört med fälten från fördelningskenor och stigare. De senare blir därmed dominerande för exponeringen av magnetfält.

## 2.4. Trender inom användning av nätstationer

Genom att utgå ifrån typfall och information från elnätsägare om placering och eventuell skärmning, görs en ansats att kartlägga antalet transformatorer inomhus som skulle kunna orsaka förhöjda magnetfält i bostäder.

Material från elnätsföretaget Ellevio pekar på att moderna ställverk utförs i byggsätt som väsentligt reducerar magnetfältsexponeringen

Elnätsägare i allmänhet strävar efter att inte förlägga nya nätstationer i byggnader för flerbostadshus. Undantag förekommer när lämplig tomtmark inte kan disponeras för separat byggnad, t.ex. i stadskärnor eller i annan tätbebyggelse.

Trenden är att nätstationer om möjligt inte förläggs i byggnader, men att de som ändå förläggs i byggnader görs mindre, utförs i byggsätt som minimerar magnetfält, samt att det används skärningsåtgärder.

Det går att grovt dela in nätstationer i tre grupper utifrån lågspänningsdelens design, baserat på deras exponering av magnetfält; en grupp där inga åtgärder har vidtagits, en grupp utförd med moderna byggsätt som minskar exponeringen, samt en tredje grupp där särskilda åtgärder som skärmning har använts.

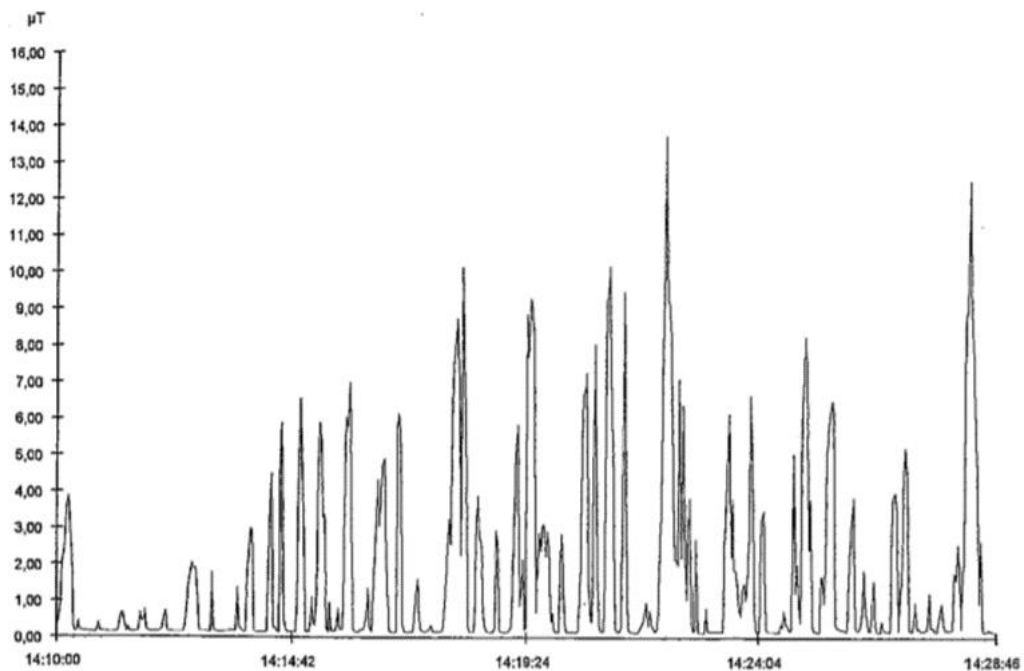
## 2.5. Extremfall vid dimensionering

Som jämförelse har tunnelbanans likriktarstationer i anslutning till bostäder studerats. I dessa likriktarstationer är de installerade effekterna grovt räknat en tiopotens större än de som förekommer i eldistributionssystem för bostadsfastigheter.

SL:s likriktarstation vid Hornbruksgatan 4, Stockholm, har tidigare analyserats (Hamnerius, Kraftfrekventa magnetfält Hornsbruksgatan, 2015).

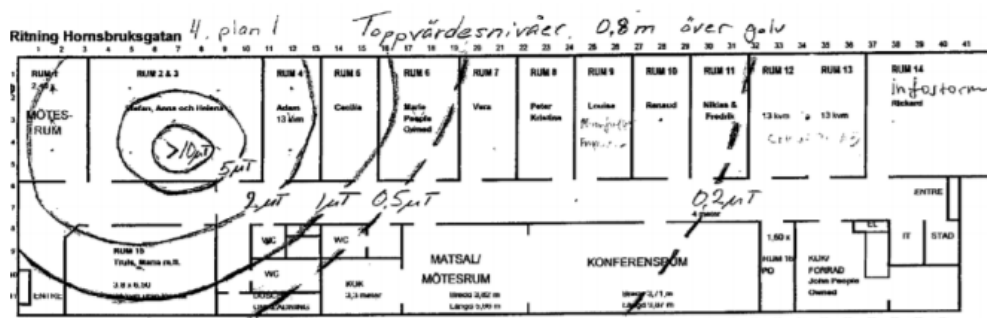
Strömförbrukningen i likriktarstationen beror på tågtrafiken. När tåg startar och accelererar ökar strömförbrukningen. Då magnetfältet är direkt proportionellt mot strömstyrkan kommer magnetfältets styrka att ha en variation som beror på tågtrafiken, se Figur 5. Magnetfältet har uppmätts och varierar från ca 0,1  $\mu\text{T}$  till ca 10  $\mu\text{T}$ , med ett uträknat medelvärde på ca 1,6  $\mu\text{T}$ .





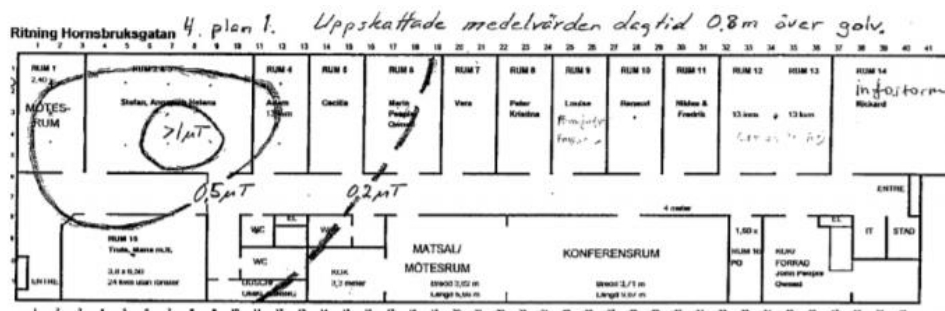
Figur 5. Fördelning i tiden under dagtid för exponering i lokaler ovanför T-banelikrikarstation (Hamnerius, Kraftfrekventa magnetfält Hornsbruksgatan, 2015).

I Figur 6 redovisas toppvärdena av magnetfälten i kontorslokalerna på plan 1.



Figur 6 Toppvärden för exponering i lokaler ovanför T-banelikrikarstation (Hamnerius, Kraftfrekventa magnetfält Hornsbruksgatan, 2015).

I Figur 7 redovisas medelvärdena av magnetfälten i kontorslokalerna på plan 1.



Figur 7 Medelvärden för exponering i lokaler ovanför T-banelikrikarstation (Hamnerius, Kraftfrekventa magnetfält Hornsbruksgatan, 2015).

Slutsats av mätningarna är att medexponeringen inte överskrider gränsvärden, men att det finns oro för att en ombyggd anläggning med utökad kapacitet kan orsaka högre värden. En sådan anläggning bör utföras med mer skärmning och modernare design.

Figur 8 visar förslag på disposition för en ny nätstation för fastigheten Hornsbruksgatan 4, Stockholm. Lägesindikationerna (streckade linjer) visar avståndet mellan bostad och nätstation. En analys pekar mot att magnetfältens medelvärde hamnar under  $0,2 \mu\text{T}$  på avståndet 3 m med installerat avskärningsmaterial. Utan en sådan installation beräknas avståndet bli 7 m.



Figur 8. Förslag på disposition av en ny nätstation för fastigheten Hornsbruksgatan 4 (Hamnerius, Kraftfrekventa magnetfält Hornsbruksgatan, 2015).

## 2.6. Konsekvenser av förändrade byggsätt

Systematiska variationer i magnetfältsexponering beror på anläggningars geometri.

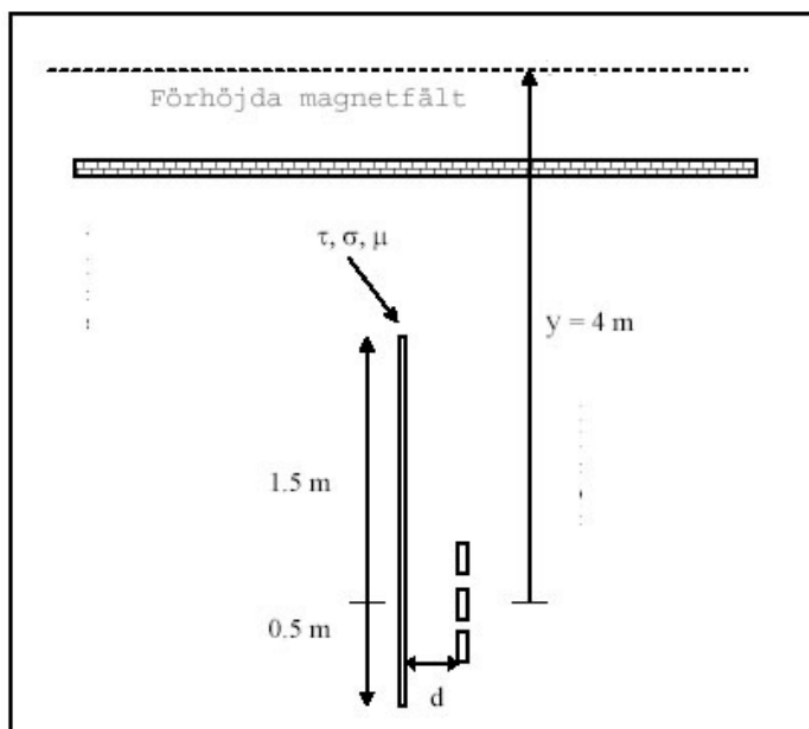
Moderna designregler medför väsentligt minskad magnetfältsexponering genom att ske nor och kablar förläggs så att de kommer så långt som möjligt ifrån bjälklag till angränsande lägenheter.

Dessutom görs ställverk och fördelningsskenor numera med minsta möjliga avstånd mellan fasskenorna, så att fälten på detta sätt minimeras.

Det är ofta inte nödvändigt att skärma ett helt rum för att minska magnetfälten i angränsande utrymmen (Hamnerius, Elektriska och magnetiska fält i byggnader, 2004).

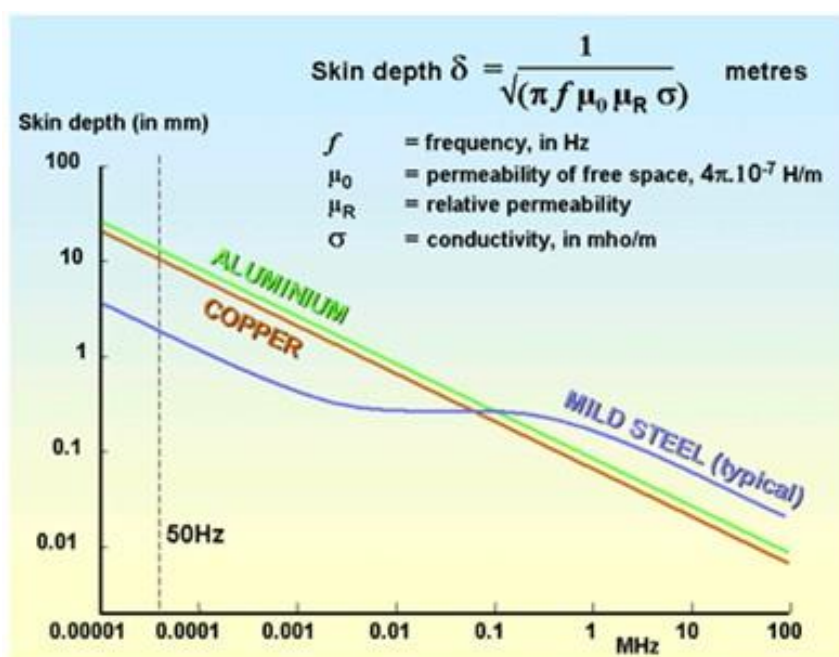
Exemplet i Figur 9 visar ett fall då strömskenorna i ett ställverksskåp gav upphov till förhöjda magnetfält i ett rum som låg över ställverksrummet. En lösning till detta problem hade varit att sätta en skärmlåt i taket i ställverksrummet i syfte att minska magnetfältet i rummet ovanför.

Simuleringar visade att detta inte är det mest effektiva sättet att reducera magnetfältet (Salinas & Aspemyr, 1999). Klart effektivare är att placera en aluminiumskärm vertikalt och på ett avstånd  $d$  bakom strömskenorna, som visas i Figur 9. Orsaken till att denna placering är bättre, är att strömskenorna då kan alstra spegelströmmar i skärmen, som bildar ett motriktat fält, som i sin tur reducerar magnetfältet runt om ställverksskåpet. Reduktionen är starkt beroende av avståndet,  $d$ , mellan strömskenorna och skärmlåten. Bäst reduktion erhålls om avståndet är kort, en minskning av avståndet från 0,2 m till 0,1 m halverar magnetfältet i rummet ovanför (Salinas E. , 2001).



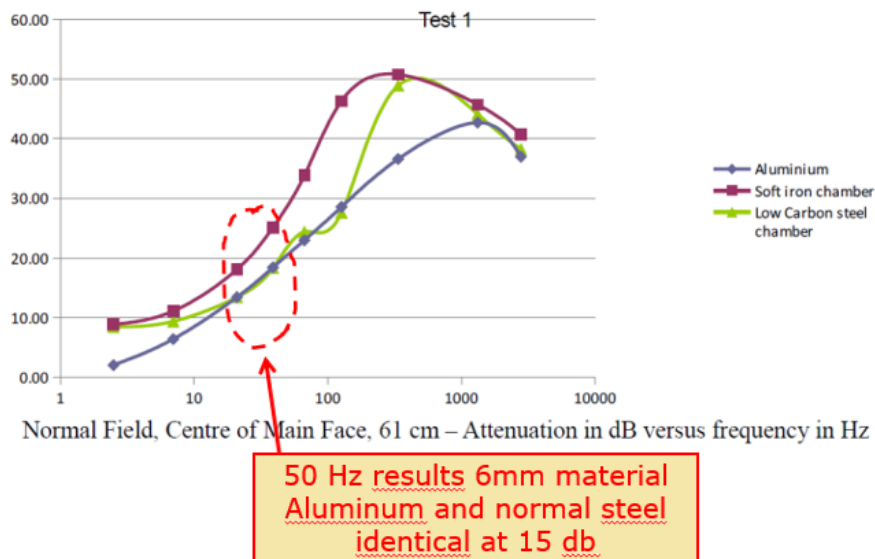
Figur 9. Exempel på verkingsfull metod för att nedbringa fältspredning genom induktion av virvelströmmar i en skärmbaffel av aluminium (Salinas, 2001).

Skärmverkan beror på att de växlande magnetfältens inträngningsdjup (eng. *skin depth*) i metaller är begränsat. Figur 10 visar inträngningsdjupet för olika material. Vid t.ex. 50 Hz är inträngningsdjupet i kolstål (eng: *mild steel*) endast ett par millimeter, vilket beror på att kolstål är ferromagnetiskt.



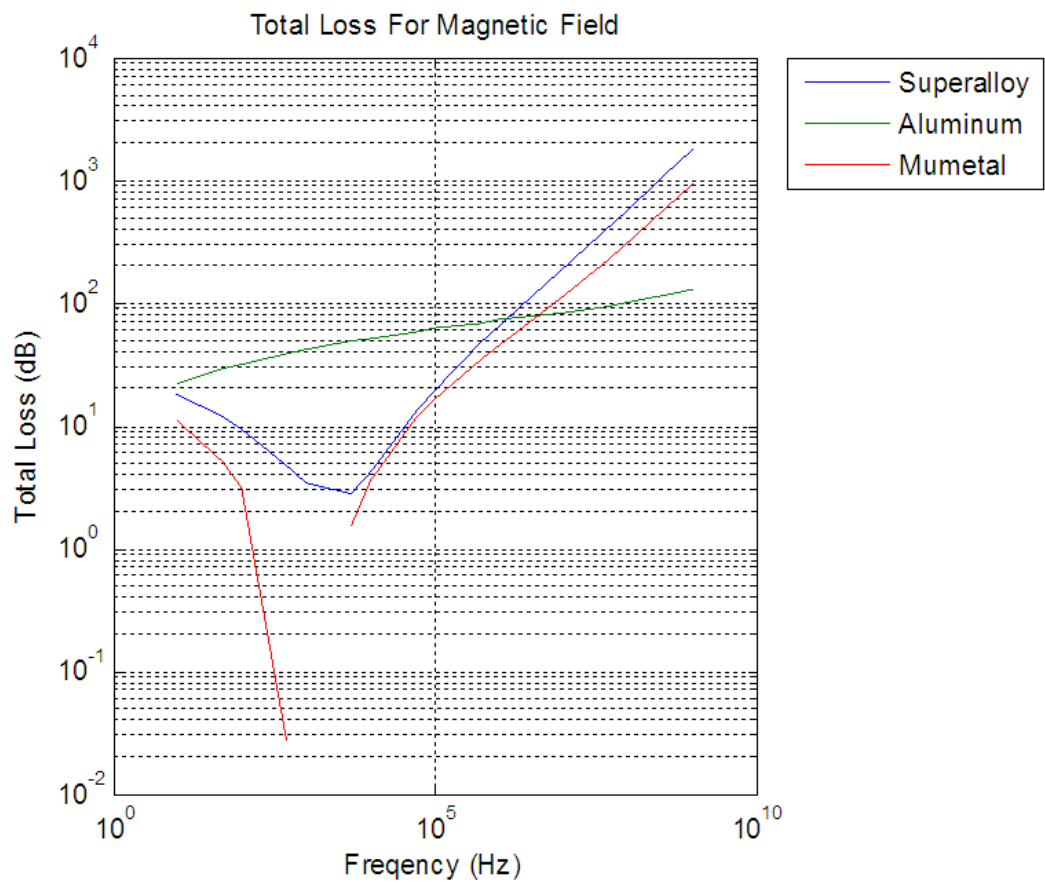
Figur 10. Inträngningsdjupet i olika skärningsmaterial (Armstrong, 2018).

Det finns möjligheter att kunna skärma magnetfält med olika metoder och effektivitet. En viktig parameter är val av material i skärmen. Figur 11 visar dämpning (dB) som funktion av frekvens (Hz) för tre olika material. Figuren visar att det går att uppnå 15-20 dB dämpning.



Figur 11. Skärmningseffektivitet för olika skärmningsmaterial (Magnetic shielding properties of Iron, aluminium and normal steel).

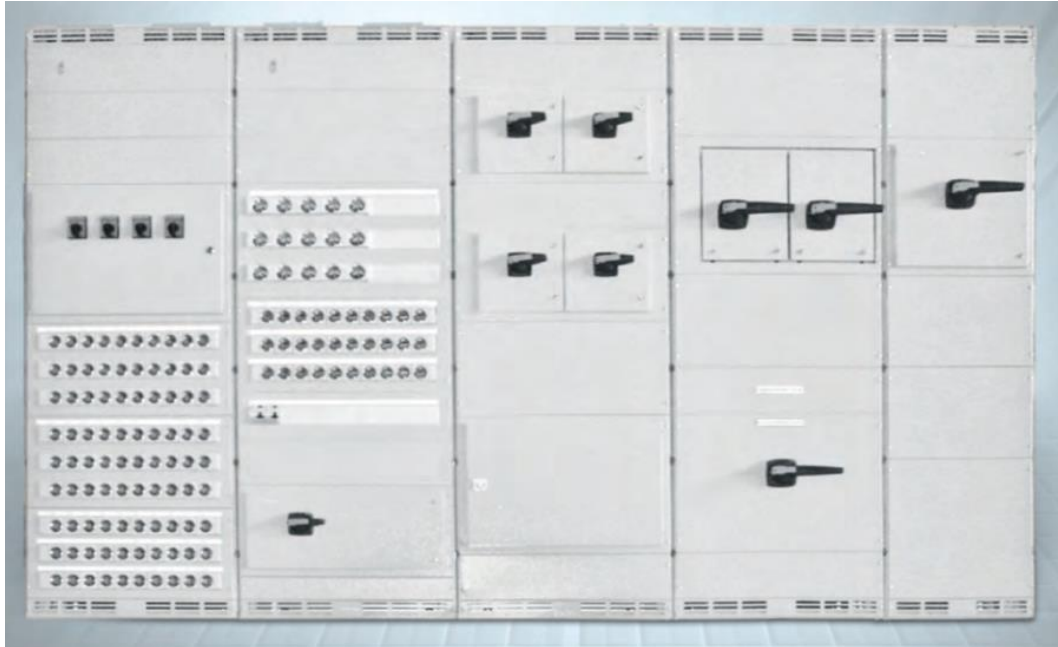
På motsvarande sätt visar Figur 12 ytterligare några material med god dämpning som kan användas vid frekvenser upp mot gigahertz.



Figur 12. Skärmningseffektivitet för olika skärmningsmaterial (EMFs.info, 2014).

## 2.7. Moderna byggsätt

Olika företag har tagit fram kompletta system för att underlätta att uppfylla krav i normer. Figur 13 visar ett modulärt system där t.ex. skenor finns inne i skåp av plåt eller rostfritt stål.



Figur 13. Modernt modulärt plåtkapslat fördelningssystem upp till 800 A (NORMEL, 2018).

## 2.8. Valet mellan lågspännings- och högspänningsabonnemang

Att ha en transformator- eller nätstation som försörjer endast ett flerbostadshus förutsätter ett individuellt högspänningsabonnemang hos elleverantören.

För effektbelopp under c:a 1000 kVA blir detta mer och mer ovanligt, utan många väljer att ansluta fastigheten med ett lågspänningsabonnemang till en eller flera större transformatorer vilka är placerade i ett gemensamt utrymme med flera anslutningspunkter inom eller utanför området.

Orsaken till detta är att mindre transformatorer har lägre verkningsgrad än större, vilket flyttar balanspunkten mellan en egen mindre och en delad större transformator genom en bättre verkningsgrad och lägre anläggningskostnad per användare hos en större gemensam transformator.

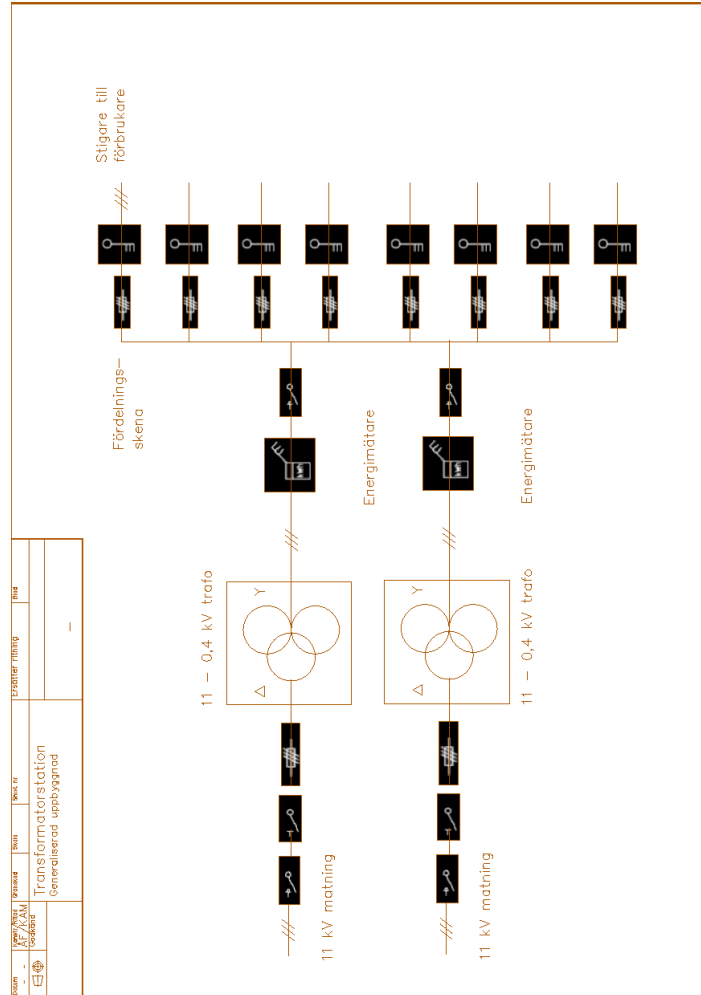
Valet mellan lågspännings- och högspänningsabonnemang avgörs från fall till fall vid projekteringen.

En av konsekvenserna av att välja lågspänningsabonnemang blir att behovet att förlägga nätstationer i själva bostadshusen minskar.

### 3. Beräkningar

En översiktlig teoretisk studie om fältfördelningen runt typiska konfigurationer görs för att analytiskt beräkna magnetfältsvärden. Dessa teoretiska värden beräknade kan sedan jämföras med ett urval av mätningar i Stockholm.

Figur 14 visar en schematisk disposition av en nätstation innehållande två transformatorer.



Figur 14. Schematisk översikt över en nätstation med lågspänningsställverk.

Nedanstående formel är en approximation som el-projektörer använder för beräkning av magnetisk flödestäthet ( $B$ ) runt lågspänningsställverk och fördelningar:

$$B = 0,35 \frac{Id}{a^2}$$

I ekvationen ovan är  $I$  strömmen genom fasledaren,  $d$  är avståndet mellan fasledarna och  $a$  är avståndet till mätpunkten.

Formeln gäller approximativt för alla vinklar när avståndet mellan ledarna jämfört med avståndet till mätpunkten är litet (mindre än  $a/10$ ). Vid små avstånd till mätpunkten uppstår ett maximum vinkelrätt mot fasledarnas plan.

Se Appendix för härledning av ovanstående approximativa uttryck för beräkning av magnetisk flödestäthet.

Tabell 1 visar beräknade värden för avstånd till fördelningsskenor för en magnetfältnivå av 0,2  $\mu\text{T}$  för olika storlekar av centraler. Valet av nivå 0,2  $\mu\text{T}$  motiveras med att SSM bedömt att 95% av bostäderna i Sverige har en magnetfältsnivå under 0,2  $\mu\text{T}$  (Augustsson & Estenberg, 2012).

Tabell 1. Beräknade minimiavstånd från samlingsskenor som funktion av ström, när 0,2  $\mu\text{T}$  exponering tillåts.

| Avstånd till skena med skärmning (m) för 0,2 $\mu\text{T}$ | Avstånd till skena utan skärmning (m) för 0,2 $\mu\text{T}$ | Fördelningsstorlek (A) |
|--|---|------------------------|
| 2,3  | 7,2   | 1000                   |
| 1,8  | 5,8   | 630                    |
| 1,4  | 4,6   | 400                    |
| 1,3  | 4,1   | 320                    |
| 0,9  | 2,9   | 160                    |
| 0,8  | 2,6   | 125                    |
| 0,7  | 2,3   | 100                    |
| 0,6  | 2,0   | 80                     |
| 0,6  | 1,8   | 63                     |
| 0,4  | 1,1   | 25                     |

Tabell 2 visar beräknade värden för avstånd till fördelningsskenor för en magnetfältnivå av 0,4  $\mu\text{T}$  för olika storlekar av centraler. Valet av nivå 0,4  $\mu\text{T}$  motiveras med att Svenska Kraftnät har en magnetfältspolicy som säger att nya kraftledningar ska byggas så att inga bostäder får en magnetfältsnivå som överstiger 0,4  $\mu\text{T}$  (Svenska Kraftnät, 2020).

Tabell 2. Beräknade minimiavstånd från samlingsskenor som funktion av ström, när 0,4  $\mu\text{T}$  exponering tillåts.

| Avstånd till skena med skärmning (m) för 0,4 $\mu\text{T}$ | Avstånd till skena utan skärmning (m) för 0,4 $\mu\text{T}$ | Fördelningsstorlek (A) |
|--|---|------------------------|
| 1,6  | 5,1   | 1000                   |
| 1,3  | 4,1   | 630                    |
| 1,0  | 3,2   | 400                    |
| 0,9  | 2,9   | 320                    |
| 0,6  | 2,0   | 160                    |
| 0,6  | 1,8   | 125                    |
| 0,5  | 1,6   | 100                    |
| 0,5  | 1,4   | 80                     |
| 0,4  | 1,3   | 63                     |
| 0,3  | 0,8   | 25                     |



## 4. Intervjuer

Relevant underlag för denna rapport samlades också in genom intervjuer med aktörer inom branschen.

Följande tre personer intervjuades:

- Jakob Engström, AFRY. Elprojektör fastighetsnät.
- Bo Alfredsson, Ellevio. Samordnare samhällsbygge.
- Peter Östberg, Trafikförvaltningen. Elkraftsansvarig.

### 4.1. Frågeställningar

Frågor till de som intervjuats gällande källor till magnetfält var utomformade enligt nedan:

- Storlekar på typiska transformatorstationer och lågspänningsställverk, vilka finns i bostadshus (installerad effekt; distributionsspänningar, antal ingående och utgående serviser)
- Dimensionering av högspännings- och lågspänningssidor
- Fysiska byggsätt (öppet, plåtkapsling, ev. mellanformer)
- Fysiska dimensioner, avstånd från strömskenor mm till ytterväggar och tak, inbördes avstånd mellan strömskenor
- Uppbyggnad (4-ledarsystem eller 5-ledarsystem)
- Val av jordtag, jordtagens placeringar, typiska jordtagsimpedanser
- Val av materiel (typer av transformatorer, ev. optimering för läckfält)
- Placering i byggnaderna
- Eventuellt gjorda optimeringar i konstruktionsstadiet när det gäller magnetfältsemissioner av hela anläggningen samt undertryckning av vagabonderande strömmar

I princip ställdes dessa frågor till de som intervjuades.

De svaren som vi fått på frågorna ovan finns inkorporerade i de redovisade intervjuerna nedan, t.ex. så som allmänna principer för dimensionering av centraler. Svaren är därmed inte presenterade i punktform, såsom frågorna beskrivs ovan.

## 4.2. Intervju Jakob Engström

Jakob Engström, ÅF, informerade om representativa beskrivningar av dimensionering för lågspänningsdistribution.

Förutsättningar och antaganden:

- Strömuttag från ställverk A, 1 200 A, symmetrisk last i skenförband
- Strömuttag från ställverk B, 1 000 A, symmetrisk last i skenförband
- Samlingsskenor i övre delen av ställverksfacken
- Beräknat magnetfält 1 meter över golv
- Avstånd mellan samlingsskenor ( $d$ ), 5 cm
- Plåtinklädnad av väggar och tak i transformatorrum och lågspänningsställverk med
- Al-plåt 5 mm

Beräkningsformel för 3-faser på rad (skenpaket och kraftledning) uttrycks som följande (se appendix för härledning):

$$B = 0,35 \frac{Id}{a^2}$$

$B$  = magnetfält i mikrottesla ( $\mu\text{T}$ )

$I$  = strömmen i ampere

$d$  = avståndet mellan samlingsskenor (m)

$a$  = mätavståndet (m) från samlingsskenornas centrum till mätpunkten

Tabell 3 sammanfattar olika beräknade minsta avstånd från samlingsskenor som en funktion av strömmen.

Tabell 3. Beräknade minimiavstånd från samlingsskenor som funktion av ström.

| Central (A) | Max. ström (A) | Min. avstånd för 0,2 $\mu\text{T}$ (m) | Min. avstånd för 0,4 $\mu\text{T}$ (m) | Kommentar        |
|-------------|----------------|--|--|------------------|
| 400         | 320            | 4,1                                    | 2,9                                    | Skärm av Al-plåt |
| 250         | 200            | 3,2                                    | 2,3                                    | Skärm av Al-plåt |
| 160         | 128            | 2,6                                    | 1,8                                    | Skärm av Al-plåt |
| 125         | 100            | 1,9                                    | 1,3                                    |                  |
| 80          | 64             | 1,5                                    | 1,2                                    |                  |
| 63          | 50             | 1,3                                    | 0,9                                    |                  |

Not: Al-plåten är 5 mm tjock.

## 4.3. Intervju Bo Alfredsson

Bo Alfredsson, Ellevio, har varit behjälplig med mycket information vid flera tillfällen.

Elnätsägarna strävar efter att om möjligt bygga nätstationen fristående från bebyggelse. Dock kan detta inte alltid åstadkommas p.g.a. att lämplig tomtmark inte kan uppbringas. Det finns direktiv som lämnas till både myndigheter och byggherrar i samband med planprocessen där elnätsägarnas önskemål framförs.

I Appendix sammanställs direktiv från Ellevio till fastighetsägare och byggherrar.

#### **4.4. Intervju Peter Östberg**

SL Tunnelbanan bygger inga nya likriktarstationer i bostadshus.

Tunnelbanan utgör ett extremfall när det gäller dimensionering, eftersom de moderna tågen kan dra mellan 5000 och 9000 A ur en likriktarstation under maximala lastförhållanden.

De magnetiska fält som kan förekomma på sekundärsidan av den transformator vilken matar likriktarbryggan överstiger de som kan finnas runt konventionella nätstationer med minst en 10-potens, beroende på att den installerade effekten är mycket större än de c:a 500 kVA som är brukliga i andra nätstationer.

Det finns ett fåtal befintliga likriktarstationer byggda i samband med både affärs- och bostadsfastigheter.

#### **4.5. Underlag som ej varit möjligt att erhålla**

Ett syfte med dessa intervjuer var att delvis kartlägga antalet transformatorstationer inomhus som orsakar förhöjda magnetfält i bostäder i Stockholm stad. Sådan erhållen information från elnätsägare om placering och eventuell skärmning skulle därmed bli en grund att utgå ifrån för att gruppera olika anläggningar i olika typfall.

Eftersom material i samlad form inte fanns tillgänglig så visade det sig svårare än förväntat att få detaljerade upplysningar. Vår utgångspunkt var att det skulle gå att finna information i samlad form.

En uppföljning med Ellevio gjordes gällande friliggande och inbyggda anläggningar. Detta resulterade i en uppskattning om exponering från befintlig teknik. Det var dock problematiskt att erhålla information om det specifika antalet anläggningar eftersom nätägaren inte lämnade ut dessa uppgifter.

## 5. Mätningar

Den 17:e december 2019 gjordes ett antal fältmätningar på anläggningar som kan vara av principiellt intresse för förståelsen av magnetfältsexponering. Mätningarna utfördes av representanter från dels Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM); Jimmy Estenberg och Torsten Augustsson, dels AFRY (f.d. ÅF); Karl-Arne Markström och Jelena Stojadinovic.

### 5.1. Likriktarstation Sveavägen 5

#### 5.1.1. Allmänt

Likriktarstation för SL Tunnelbanan, adress Sveavägen 5, källarplan.

Denna anläggning valdes därför att den utgör ett av de dimensionerande fallen när det gäller installerad effekt i en och samma anläggning i stadsmiljö.

Den innehåller en 33 kV/580 V Y-D kopplad transformator med en märkeffekt av 5 MVA, samt en likriktare som levererar 750 V likspänning till kontaktskenan. Momentant kan över 9000 A levereras från denna likriktare.

Fälten som uppträder runt transformatorer och fördelningsskenor i en sådan installation visar sannolikt de högsta värden som förekommer i praktiska anläggningar vilka finns samlokaliserade inom annan bebyggelse.

En sådan likriktarstation är c:a en tiopotens större än en lågspänningsfördelning som kan förekomma i en ”inhyst” nätstation i ett bostadshus.

Figur 15 visar interiör från likriktarhallen.



Figur 15. Interiör från likriktarhall, likspänningsställverk syns till höger i bild.

Figur 16 visar interiör från transformatorhallen. Högspänningsskenorna ses i mitten av bilden.



Figur 16. Interiör från transformatorhall, högspänningsskenor.

Figur 17 visar olika bilder från anläggningen. Till vänster visas en märkskylt på transformatorn i transformatorhall, i mitten visas likriktare i likritarhallen inklusive strömskenor, högra bilden visar slutligen matningssidan vid högspänningsställverket.



Figur 17. Olika interiörbilder från anläggningen vid Sveavägen 5.

### 5.1.2. Observationer

Mätningar med spektral upplösning gjordes nära transformatorn och likriktaren vid en punkt invid transformatorns lågspänningssida och likriktaren där fälten var som högst.

Fälten kunde dessutom variera med en faktor c:a 10:1 beroende på ifall ett eller flera tunnelbanetåg startade från station Hötorget eller ej.

Resultaten från mätningarna nära transformator sammanfattas i Tabell 4.

Tabell 4. Mätningar nära transformatorn och likriktaren.

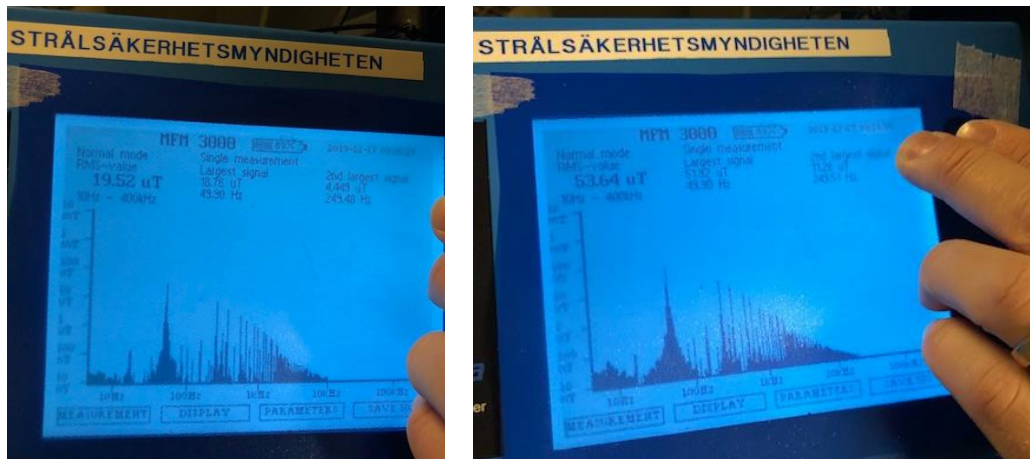
| 50 Hz grundton                          | Kommentar           |
|---|---------------------|
| 52 $\mu$ T                              | Utan passerande tåg |
| 100 $\mu$ T                             | När tåget kommer    |
| 250 Hz (övertonsbildning i likriktaren) |                     |
| 11 $\mu$ T                              | Utan passerande tåg |
| 100 $\mu$ T                             | När tåget kommer    |

Mätinstrumenten EnviroMentor Field Finder och Combinova MFM 3000 användes för mätningarna. Tabell 5 sammanfattar några av mätinstrumentets tekniska egenskaper samt annan intressant information.

Tabell 5. Mätinstrument Field Finder och Combinova

|  |
|--|
| <b>Combinova</b>                         |
| Modell: MFM 3000                         |
| Spektralt upplöst mätning                |
| Frekvensområde: 5 Hz till 400 kHz        |
| Mätområde: 10 nT till 10 mT              |
| Mätnoggrannhet: $\pm$ (1% + 2 nT)        |
| Kalibreringsdatum: 23/12-2014            |
| Verifikationsmätning: 15/9-2017          |
| Konstanskroll: 10/12-19                  |
| <b>EnviroMentor</b>                      |
| Modell: Field Finder                     |
| Integrerad mätning                       |
| Frekvensområde: 30 Hz till 2 kHz         |
| Mätområde: 0,05 $\mu$ T till 100 $\mu$ T |
| Mätnoggrannhet: $\pm$ (10% + 50 nT)      |
| Kalibreringsdatum: 2007                  |
| Verifikationsmätning: 15/9-2017          |
| Konstanskroll: 13/12-2019                |

Figur 18 visar två foton av EMF-mätinstrumentet vid de aktuella mätningarna.



Figur 18. Foton av mätinstrumentets (MFM3000) bildskärm.

### 5.1.3. Kommentar objektet Sveavägen 5

Detta objekt är inkluderat i denna undersökning då det utgör ett extremfall när det gäller installerad effekt i en samlokaliserad transformatorstation. Dessutom finns fördelnings-skenor och annan materiel koncentrerade i ett relativt litet utrymme.

Stationen ger dessutom en illustration av vad kraftigt varierande laster innebär för magnetfältexponeringen.

## 5.2. Bersågränd 5

### 5.2.1. Allmänt om objektet Bersågränd 5

Denna nätstation är belägen i förortsbebyggelse i Enskededalen nära Sandsborg.

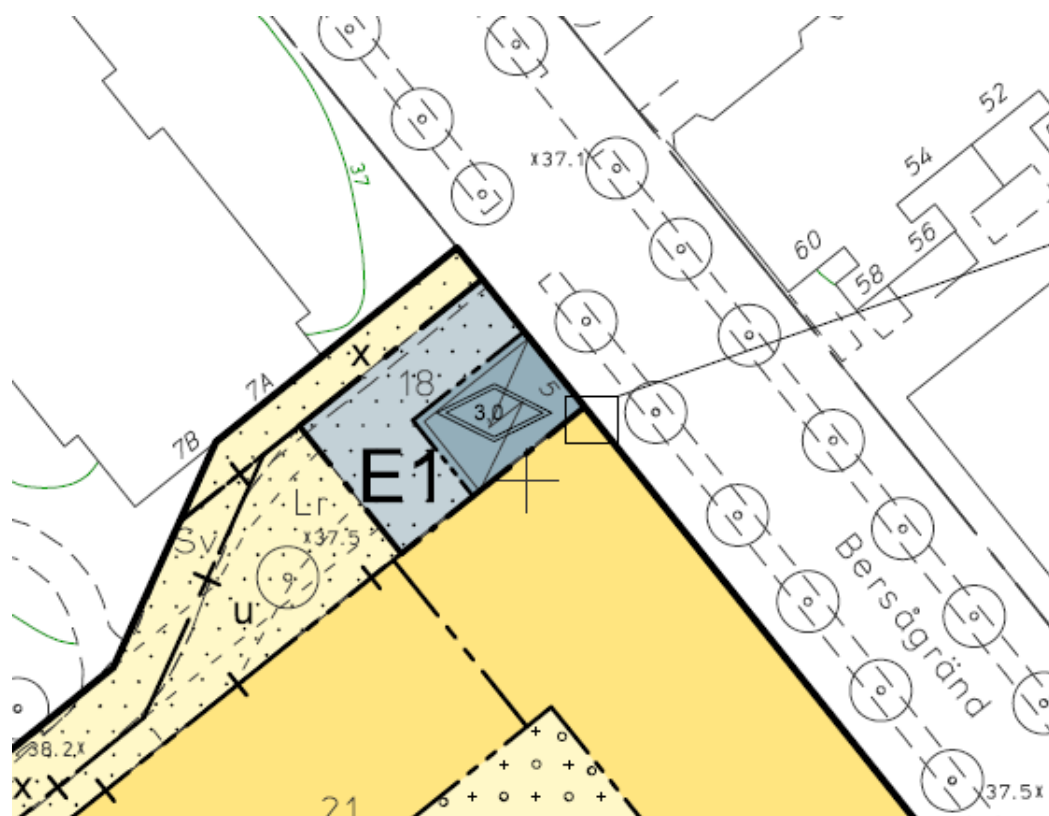
Den installerade effekten är 2 x 1000 kVA, eller 2 x 1500 A på de Y-kopplade sekundärsidan. Primärsidorna är deltakopplade med 11 kV huvudspänning.

Nätstationen är platsbyggd i direkt anslutning till en garagebyggnad. Ingen begränsande åtgärd i form av plåtning finns idag.

Parallellt med detta pågår en detaljplaneprocess för etablering av bostäder i detta område (Stockholms stad, 2013).

Som en konsekvens av planärendet, eftersom planmyndigheten ställer krav för begränsning av exponeringen, kommer stationen att modifieras i syfte att minska fältexponeringen för kringboende.

Figur 19 visar ett utsnitt ur plankarta över fastigheten Dalen 21, vid Bersågränd.



Figur 19. Utsnitt ur plankarta över fastigheten Dalen 21.



## 5.2.2. Mätningar och observationer

Mätningarna är gjorda i befintligt förhållande. Stationen är av 1980-tals utförande utan några åtgärder för att minska magnetfälten. Figur 20 visar en frontvy över nätstationen och Figur 21 visar en sidovy.



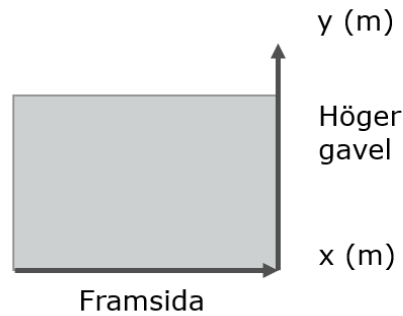
Figur 20. Frontvy över nätstationen.



Figur 21. Sidovy över nätstationen.

Mätningarna avser grundton (50 Hz) och är utförda med handburet instrument, Enviro-mentor FieldFinder, placerat dikt an emot ytterväggar.

Figur 22 visar mätobjektet sett uppifrån. Framsida motsvarar frontvyn i Figur 20.



Figur 22. Vy uppifrån som visar koordinater för mätpunkterna.

För mätvärden för detta objekt vid Bersågränd 5 gäller följande:

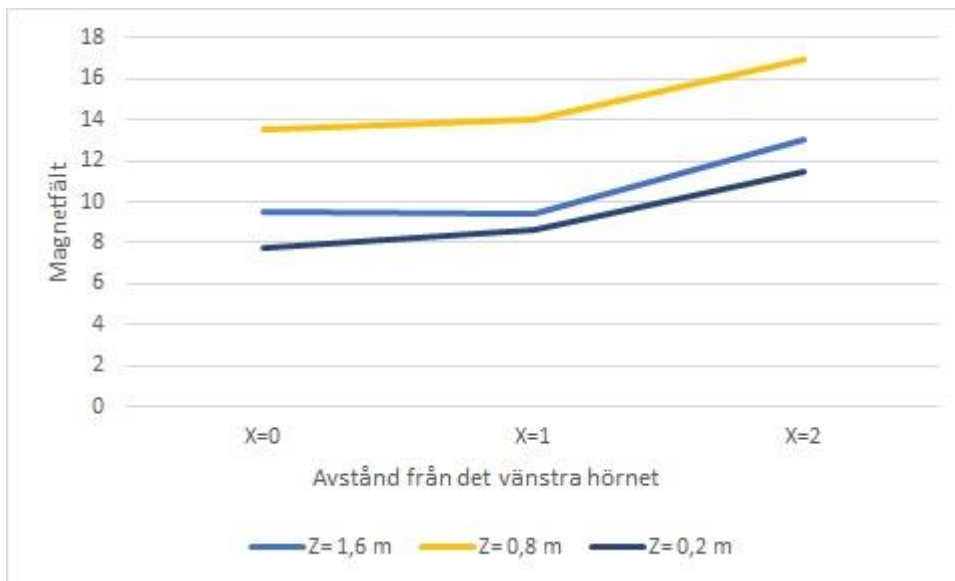
- Z är höjd över marken (m)
- X är avstånd längs framsida från det vänstra hörnet (m)
- Y är avstånd längs höger gavel från framsida (m)
- B är uppmätt magnetfält ( $\mu\text{T}$ )

Uppmätta resultat med mätinstrumentet dikt an mot framsidan sammanfattas i Tabell 6. Mätningarna har utförts på tre olika höjder över marken.

Tabell 6. Uppmätta värden för framsida.

|                  | <b>X = 0 m</b>     | <b>X = 1 m</b>    | <b>X = 2 m</b>     |
|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Z = 1,6 m</b> | 9,5 $\mu\text{T}$  | 9,4 $\mu\text{T}$ | 13 $\mu\text{T}$   |
| <b>Z = 0,8 m</b> | 13,5 $\mu\text{T}$ | 14 $\mu\text{T}$  | 17 $\mu\text{T}$   |
| <b>Z = 0,2 m</b> | 7,7 $\mu\text{T}$  | 8,6 $\mu\text{T}$ | 11,5 $\mu\text{T}$ |

Figur 23 visar en graf över hur mätvärdena ökar som funktion av avstånd från det vänstra hörnet för mätningar på framsidan.



Figur 23. Graf över magnetfältets variation som funktion av avstånd från det vänstra hörnet.

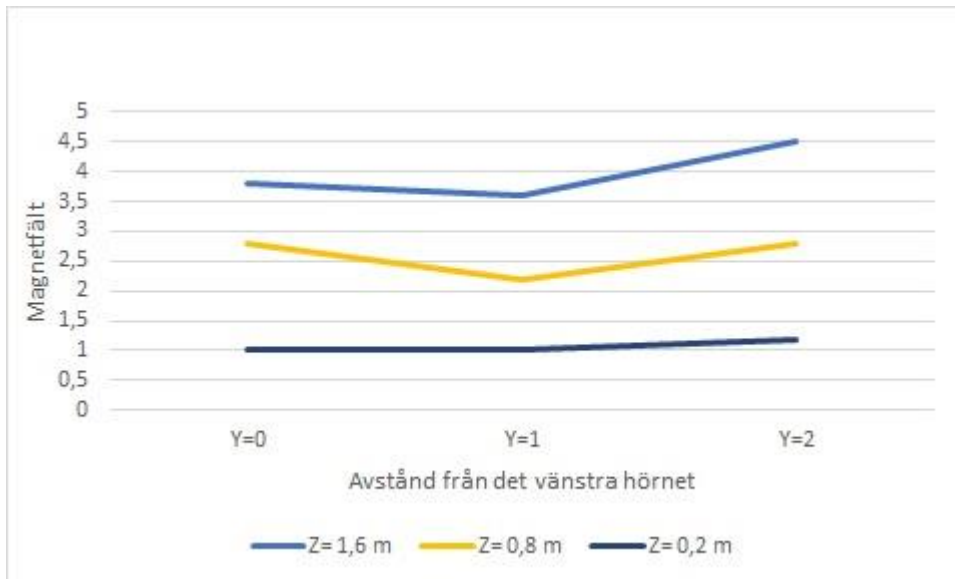
Figur 23 pekar mot att högsta magnetfältnivå är på 0,8 m över marken för framsida.

Uppmätta resultat med mätinstrumentet dikt an mot höger gavel sammanfattas i Tabell 7. Mätningarna har utförts på tre olika höjder över marken.

Tabell 7. Uppmätta värden för höger gavel.

|                  | <b>Y = 0 m</b> | <b>Y = 1 m</b> | <b>Y = 2 m</b> |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Z = 1,6 m</b> | 3,8 $\mu$ T    | 3,6 $\mu$ T    | 4,5 $\mu$ T    |
| <b>Z = 0,8 m</b> | 2,8 $\mu$ T    | 2,2 $\mu$ T    | 2,8 $\mu$ T    |
| <b>Z = 0,2 m</b> | 1 $\mu$ T      | 1 $\mu$ T      | 1,2 $\mu$ T    |

Figur 24 visar grafer över hur mätvärden ökar som funktion av avstånd från det nedre hörnet för mätningar på höger gavel.



Figur 24. Graf över magnetfältets variation som funktion av avstånd från det vänstra hörnet.

### 5.2.3. Kommentar objektet Bersågränd 5

Trots att station vid Bersågränd 5 är byggd utan några särskilda åtgärder för att minska magnetfälten, så överskrider inte de uppmätta värdena de rekommenderade riktlinjerna enligt Figur 1.

Objektet visar inga speciellt avvikande egenskaper från vad som kan förväntas utifrån storlek, byggnadsgeneration och byggsätt.

Då nätet var under ombyggnad så är det oklart om alla ledningar var inkopplade.

## 5.3. Maria Skolgata 50

### 5.3.1. Allmänt om objektet Maria Skolgata 50

Nätstationen vid Maria Skolgata 50 är underjordisk, förlagd under gångbana, se luckor för åtkomst samt ventilation i Figur 25.

Den installerade effekten är 2000 kVA (byggd som 2x2000 kVA där lasten max ska vara 50%), eller 2x1500 A på de Y-kopplade sekundärsidorna. Primärsidorna är 11 kV delta-kopplade.

Nätstationen kommer att byggas om inom kort och då förses med aluminiumskärm. Produktionsstart är nära förestående.

Här finns möjlighet till verifiering av värden före samt efter inplåtning ovanför en nätstation. Dock ska noteras att luckorna i konstruktionens tak innebär att skärmen blir bruten vilket innebär att dämpningen av magnetfälten inte blir lika jämn som med en hel skärm.



Figur 25. Foto (Google Maps, 2020) av markplan över underjordisk nätstation.

En ytterligare kommentar är att Ellevio idag inte bygger nya underjordiska nätstationer, befintliga kan som i detta fall ändå behöva förnyas då ingen annan plats erbjuds i närområdet.

### 5.3.2. Mätningar och observationer

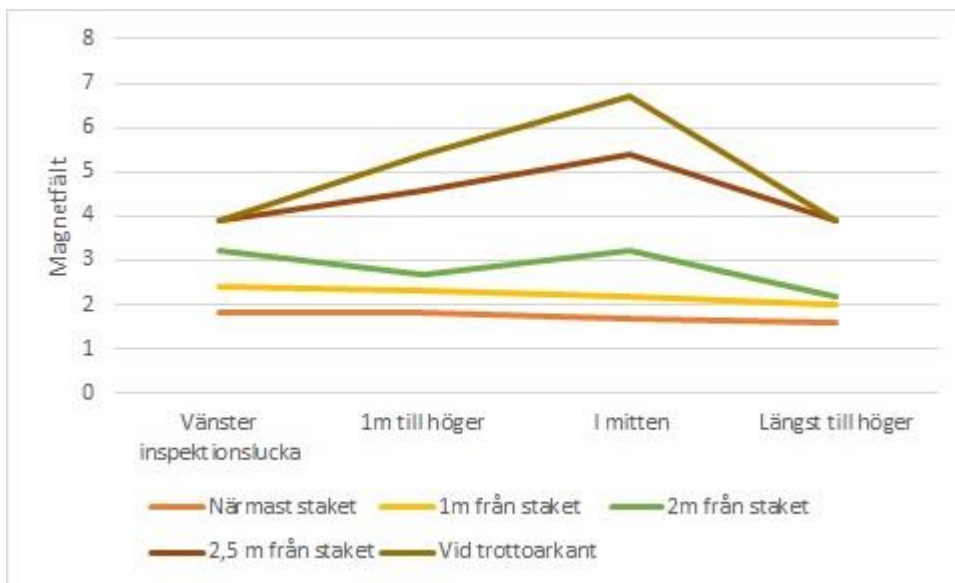
Mätningarna avser grundton (50 Hz) och är utförda med handburet instrument, Enviro-mentor FieldFinder, på tre olika höjder ovanför gatuplanet.

Mätresultaten uppmätta på höjden 1,6 meter över marken sammanfattas i Tabell 8.

Tabell 8. Uppmätta värden vid  $Z=1,6$  m över marken.

| Z=1,6 m           | Vänster inspektionslucka | 1 m till höger | I mitten    | Längst till höger |
|-------------------|--------------------------|----------------|-------------|-------------------|
| Närmast staket    | 1,8 $\mu$ T              | 1,8 $\mu$ T    | 1,7 $\mu$ T | 1,6 $\mu$ T       |
| 1m från staket    | 2,4 $\mu$ T              | 2,3 $\mu$ T    | 2,2 $\mu$ T | 2 $\mu$ T         |
| 2m från staket    | 3,2 $\mu$ T              | 2,7 $\mu$ T    | 3,2 $\mu$ T | 2,2 $\mu$ T       |
| 2,5 m från staket | 3,9 $\mu$ T              | 4,6 $\mu$ T    | 5,4 $\mu$ T | 3,9 $\mu$ T       |
| Vid trottoarkant  | 3,9 $\mu$ T              | 5,4 $\mu$ T    | 6,7 $\mu$ T | 3,9 $\mu$ T       |

Figur 26 visar grafer för de uppmätta värdena på höjden 1,6 meter över marken.



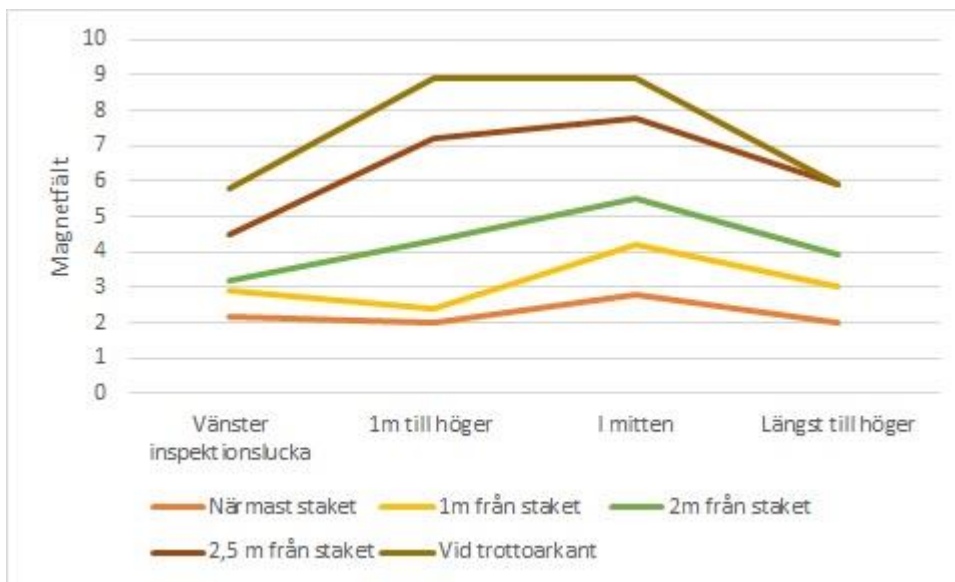
Figur 26. Magnetfält som funktion av avstånd,  $Z = 1,6$  m.

Mätresultaten uppmätta på höjden 0,8 meter över marken sammanfattas i Tabell 9.

Tabell 9. Mätning vid  $Z=0,8$  m över marken.

| $Z=0,8$ m         | Vänster inspektionslucka | 1 m till höger | I mitten    | Längst till höger |
|-------------------|--------------------------|----------------|-------------|-------------------|
| Närmast staket    | 2,2 $\mu$ T              | 2 $\mu$ T      | 2,8 $\mu$ T | 2 $\mu$ T         |
| 1 m från staket   | 2,9 $\mu$ T              | 2,4 $\mu$ T    | 4,2 $\mu$ T | 3 $\mu$ T         |
| 2 m från staket   | 3,2 $\mu$ T              | 4,3 $\mu$ T    | 5,5 $\mu$ T | 3,9 $\mu$ T       |
| 2,5 m från staket | 4,5 $\mu$ T              | 7,2 $\mu$ T    | 7,8 $\mu$ T | 5,9 $\mu$ T       |
| Vid trottoarkant  | 5,8 $\mu$ T              | 8,9 $\mu$ T    | 8,9 $\mu$ T | 5,9 $\mu$ T       |

Figur 27 visar grafer för de uppmätta värdena på höjden 0,8 meter över marken.



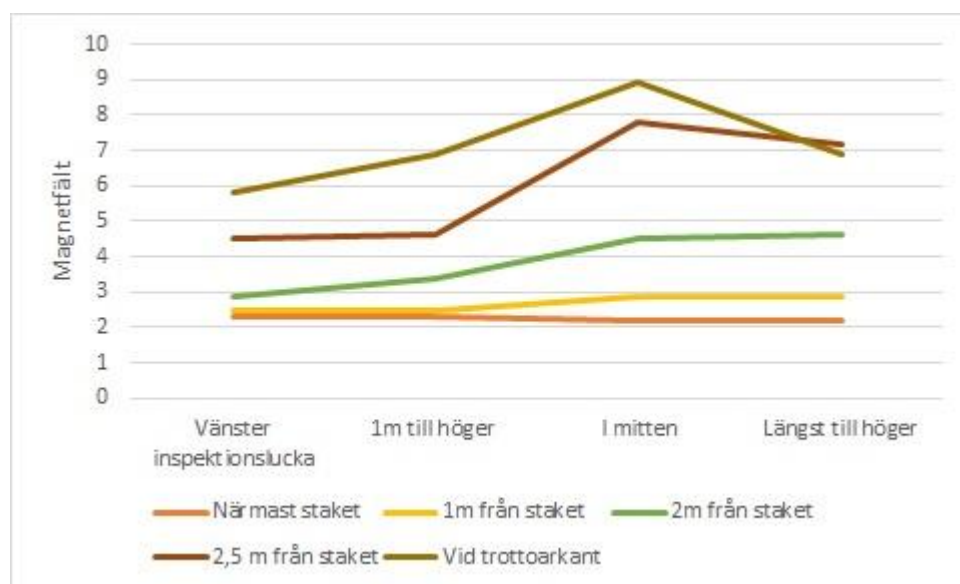
Figur 27. Magnetfält som funktion av avstånd,  $Z=0,8$  m.

Mätresultaten uppmätta på höjden 0,05 meter över marken sammanfattas i Tabell 10.

Tabell 10. Uppmätta värden vid Z=0,05 m över marken.

| Z=0,05 m          | Vänster inspektionslucka | 1m till höger | I mitten    | Längst till höger |
|-------------------|--------------------------|---------------|-------------|-------------------|
| Närmast staket    | 2,3 $\mu$ T              | 2,3 $\mu$ T   | 2,2 $\mu$ T | 2,2 $\mu$ T       |
| 1m från staket    | 2,5 $\mu$ T              | 2,5 $\mu$ T   | 2,9 $\mu$ T | 2,9 $\mu$ T       |
| 2m från staket    | 2,9 $\mu$ T              | 3,4 $\mu$ T   | 4,5 $\mu$ T | 4,6 $\mu$ T       |
| 2,5 m från staket | 4,5 $\mu$ T              | 4,6 $\mu$ T   | 7,8 $\mu$ T | 7,2 $\mu$ T       |
| Vid trottoarkant  | 5,8 $\mu$ T              | 6,9 $\mu$ T   | 8,9 $\mu$ T | 6,9 $\mu$ T       |

Figur 28 visar grafer för de uppmätta värdena på höjden 0,05 meter över marken.



Figur 28. Magnetfält som funktion av avstånd, Z=0,05 m.

### 5.3.3. Kommentar objektet Maria Skolgata 50

Vid den här underjordiska nätstationen kan man konstatera att de uppmätta värdena inte överskrider de rekommenderade riktlinjerna enligt Figur 1.



## 5.4. Sorögatan 27

### 5.4.1. Allmänt om objektet vid Sorögatan 27

Objektet vid Sorögatan 27 är en fristående platsbyggd nätstation. Det finns åtkomst för mätning i tre sidor med läge i suterräng, enligt Figur 29.



Figur 29. Frontvy av anläggningen vid Sorögatan 27.

Den del som normalt vetter mot bostadsutrymmen vid inhysning ligger vid en parkering, man kan alltså få typiska värden i diagonalposition snett bakom, ovanför stationen.

Eftersom avstånd till bostadsbyggnad är över 8 m (ca 9 m i detta fall) har nätstationen ingen åtgärd för begränsning av magnetfält.

Läget kan anses motsvara en typisk inhytt nätstation där omkringliggande lägenheter givits distans genom placering i exempelvis parkeringsgarage med minst 8 m till bostadsutrymmen.

### 5.4.2. Observationer

Den installerade effekten är 2000 kVA, vilket totalt motsvarar 3000 A på den Y-kopplade sekundärsidan. Primärsidan är 11 kV delta-kopplad.

Mätningarna avser grundton (50 Hz) och är utförda med handburet instrument, Enviromentor FieldFinder, dikt an mot väggen, för tre olika höjder över marken.

För mätvärden för detta objekt vid Sorögatan 27 gäller följande:

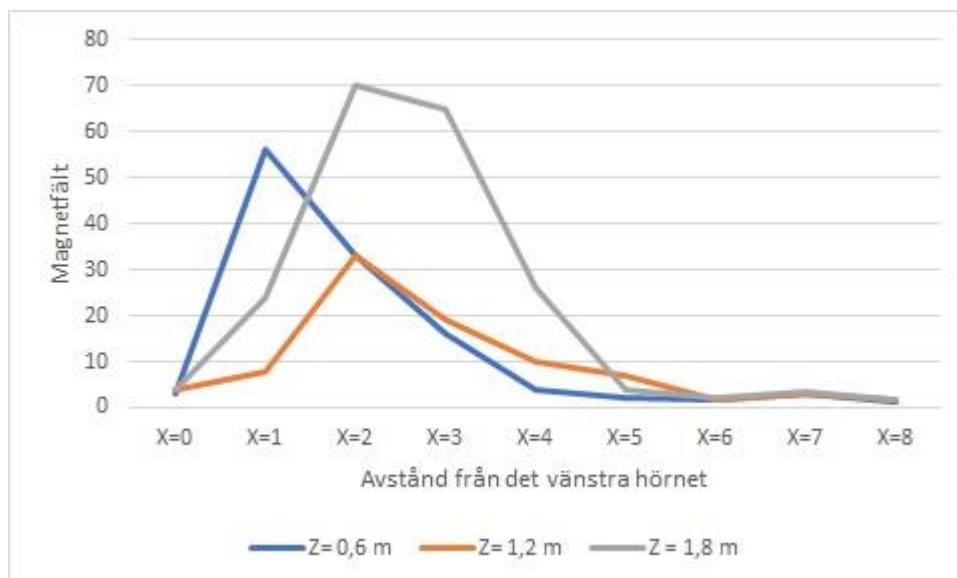
- Z är höjd över marken (m)
- X är avstånd längs framsida från det vänstra hörnet (m)
- Y är avstånd från väggen (m) mot betraktaren
- B är uppmätt magnetfält ( $\mu\text{T}$ )

Uppmätta resultat med mätinstrumentet på framsida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 11.

|          | X=0 m           | X=1 m            | X=2 m            | X=3 m            | X=4 m            | X=5 m           | X=6 m             | X=7 m             | X=8 m             |
|----------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Z= 0,6 m | 3 $\mu\text{T}$ | 56 $\mu\text{T}$ | 33 $\mu\text{T}$ | 16 $\mu\text{T}$ | 4 $\mu\text{T}$  | 2 $\mu\text{T}$ | 1,7 $\mu\text{T}$ | 3 $\mu\text{T}$   | 1,1 $\mu\text{T}$ |
| Z= 1,2 m | 4 $\mu\text{T}$ | 8 $\mu\text{T}$  | 33 $\mu\text{T}$ | 19 $\mu\text{T}$ | 10 $\mu\text{T}$ | 7 $\mu\text{T}$ | 1,8 $\mu\text{T}$ | 3 $\mu\text{T}$   | 1,5 $\mu\text{T}$ |
| Z= 1,8 m | 4 $\mu\text{T}$ | 24 $\mu\text{T}$ | 70 $\mu\text{T}$ | 65 $\mu\text{T}$ | 26 $\mu\text{T}$ | 4 $\mu\text{T}$ | 2 $\mu\text{T}$   | 3,4 $\mu\text{T}$ | 1,6 $\mu\text{T}$ |

Tabell 11. Uppmätta värden på framsida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$

Figur 30 visar grafer för de uppmätta värdena på olika höjder över marken.



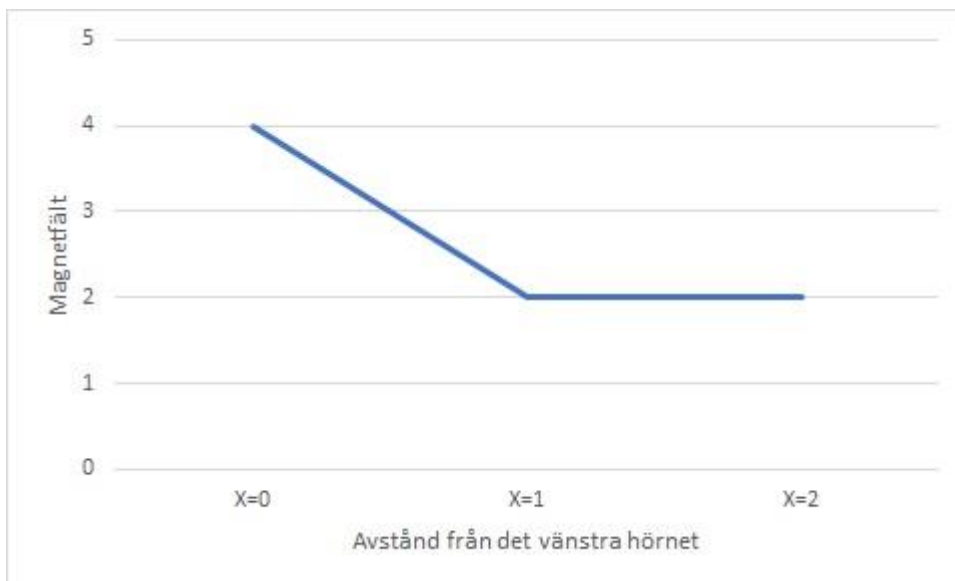
Figur 30. Magnetfält som funktion av avstånd.

Uppmätta resultat med mätinstrumentet på höger sida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 12.

Tabell 12. Uppmätta värden på höger sida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$ .

|          | X=0 m           | X=1 m           | X=2 m           |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Z= 1,5 m | 4 $\mu\text{T}$ | 2 $\mu\text{T}$ | 2 $\mu\text{T}$ |

Figur 31 visar graf över mätvärden som funktion av avstånd från det vänstra hörnet.



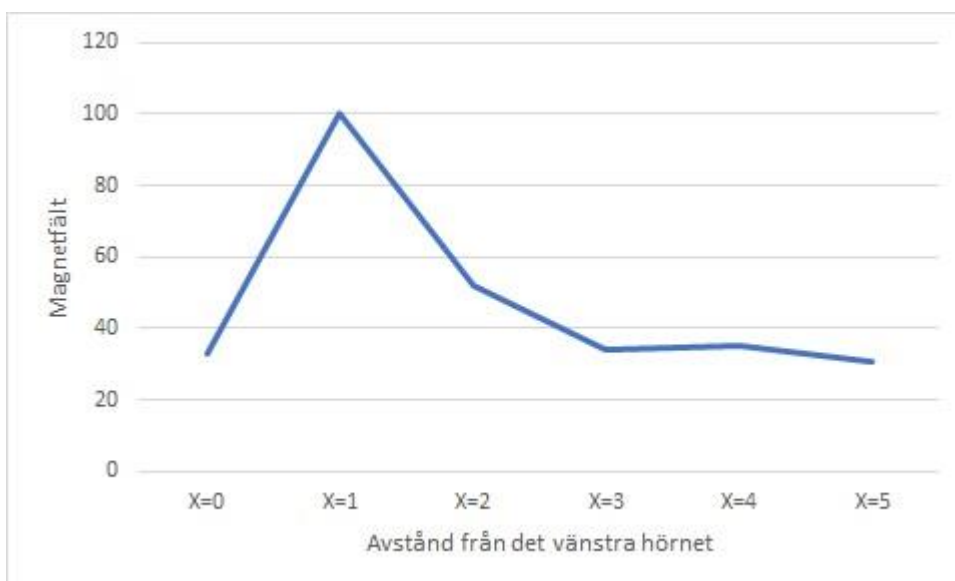
Figur 31. Magnetfält som funktion av avstånd.

Uppmätta resultat med mätinstrumentet på baksida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 13.

Tabell 13. Uppmätta värden på baksida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$ .

|                         | X=0 m      | X=1 m        | X=2 m      | X=3 m      | X=4 m      | X=5 m      |
|-------------------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|
| Z= 4 m c:a<br>(Takhöjd) | 33 $\mu$ T | >100 $\mu$ T | 52 $\mu$ T | 34 $\mu$ T | 35 $\mu$ T | 31 $\mu$ T |

Figur 32 visar graf över mätvärden som funktion av avstånd från det vänstra hörnet.



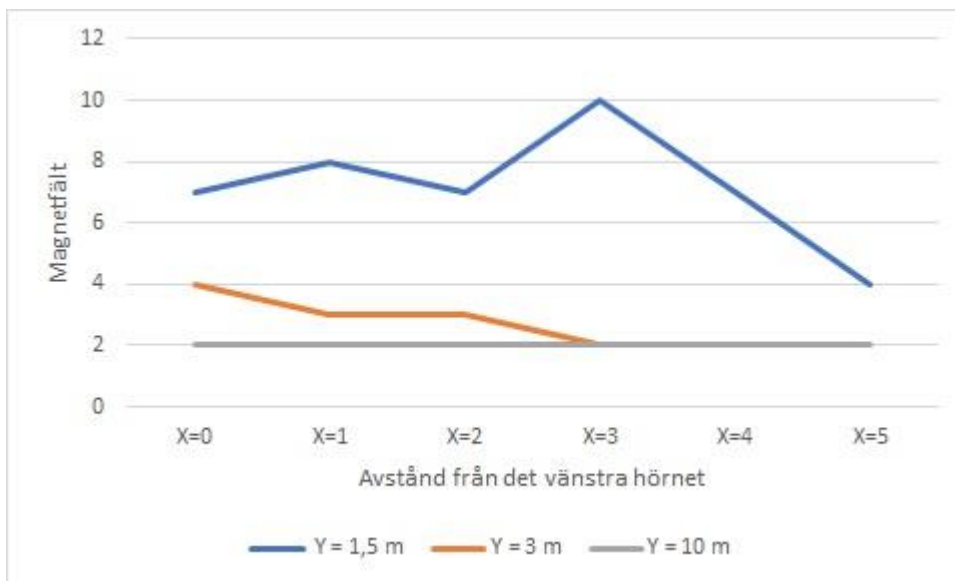
Figur 32. Magnetfält som funktion av avstånd.

Uppmätta resultat med mätinstrumentet på framsida sammanfattas i Tabell 14. Mätningarna har utförts på tre olika avstånd från yttervägg.

Tabell 14. Uppmätta värden på framsida på olika avstånd från yttervägg

|           | X=0 m     | X=1 m     | X=2 m     | X=3 m      | X=4 m     | X=5 m     |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Y = 1,5 m | 7 $\mu$ T | 8 $\mu$ T | 7 $\mu$ T | 10 $\mu$ T | 7 $\mu$ T | 4 $\mu$ T |
| Y = 3 m   | 4 $\mu$ T | 3 $\mu$ T | 3 $\mu$ T | 2 $\mu$ T  | 2 $\mu$ T |           |
| Y = 10 m  | 2 $\mu$ T | 2 $\mu$ T | 2 $\mu$ T | 2 $\mu$ T  | 2 $\mu$ T | 2 $\mu$ T |

Figur 33 visar grafer över hur mätvärden ändrats som funktion av avstånd från det vänstra hörnet för mätningar på framsida.



Figur 33. Magnetfält som funktion av avstånd

Uppmätta resultat på vänster sida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 15.

Tabell 15. Uppmätta värden på vänster sida dikt emot yttervägg, Y = 0.

|          | X=0 m     | X=1 m     | X=2 m     |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Z= 1,5 m | 4 $\mu$ T | 2 $\mu$ T | 2 $\mu$ T |

Figur 34 visar graf över mätvärden som funktion av avstånd från det vänstra hörnet.



Figur 34. Magnetfält som funktion av avstånd

#### 5.4.3. Kommentar objektet Sorögatan 27

För detta objekt uppmäts en hög fältkoncentration på baksidan dikt an mot ytterväggen. Denna höga fältkoncentration torde vara primärt orsakat av att fördelningskenor med höga strömmar är lokaliserade precis innanför väggen.

## 5.5. Torshamnsgatan 25

### 5.5.1. Allmänt

Nätstationen vid Torshamnsgatan 25 kommer att ersättas av två inhysta nätstationer vid exploatering i närtid, placerade i nya hus med bostäder. Detta objekt bör ge karakteristiska värden för en nätstation utan skärm. Figur 35 visar vy framifrån.

Den installerade effekten är 2x1000 kVA, vilket motsvarar 2x1500 A på den Y-kopplade sekundärsidan. Primärsidorna är 11 kV delta-kopplade.

Det är värt att känna till att de stora lågspänningsstråken går ut från stationsbyggnaden mot gatan, i denna riktning bör alltså förhöjda nivåer vara tydligare.



Figur 35. Frontvy av Torshamnsgatan 25.

### 5.5.2. Observationer

Mätning med mätinstrument Enviromentor FieldFinder. Mätningarna är gjorda dikt emot väggen.

För mätvärden för detta objekt vid Torshamnsgatan 25 gäller följande:

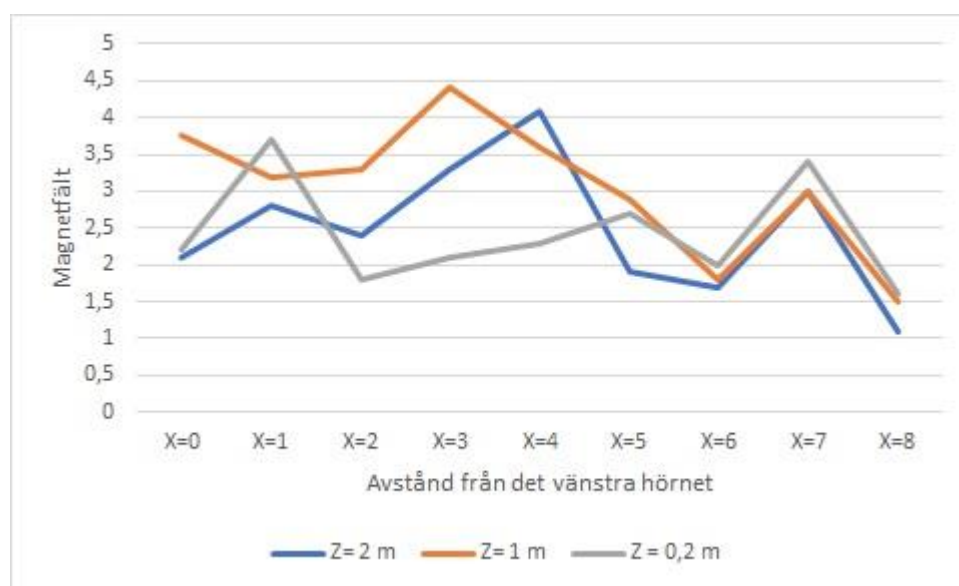
- Z är höjd över marken (m)
- X är avstånd längs framsida från det vänstra hörnet (m)
- Y är avstånd från väggen (m)
- B är uppmätt magnetfält ( $\mu\text{T}$ )

Uppmätta resultat med mätinstrumentet på framsida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 16. Mätningarna har utförts på tre olika höjder över marken.

Tabell 16. Uppmätta värden på framsida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$ .

|           | X=0 m        | X=1 m       | X=2 m       | X=3 m       | X=4 m       | X=5 m       | X=6 m       | X=7 m       | X=8 m       |
|-----------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Z= 2 m    | 2,1 $\mu$ T  | 2,8 $\mu$ T | 2,4 $\mu$ T | 3,3 $\mu$ T | 4,1 $\mu$ T | 1,9 $\mu$ T | 1,7 $\mu$ T | 3 $\mu$ T   | 1,1 $\mu$ T |
| Z= 1 m    | 3,75 $\mu$ T | 3,2 $\mu$ T | 3,3 $\mu$ T | 4,4 $\mu$ T | 3,6 $\mu$ T | 2,9 $\mu$ T | 1,8 $\mu$ T | 3 $\mu$ T   | 1,5 $\mu$ T |
| Z = 0,2 m | 2,2 $\mu$ T  | 3,7 $\mu$ T | 1,8 $\mu$ T | 2,1 $\mu$ T | 2,3 $\mu$ T | 2,7 $\mu$ T | 2 $\mu$ T   | 3,4 $\mu$ T | 1,6 $\mu$ T |

Figur 36 visar grafer för de uppmätta värdena på tre olika höjder över marken.



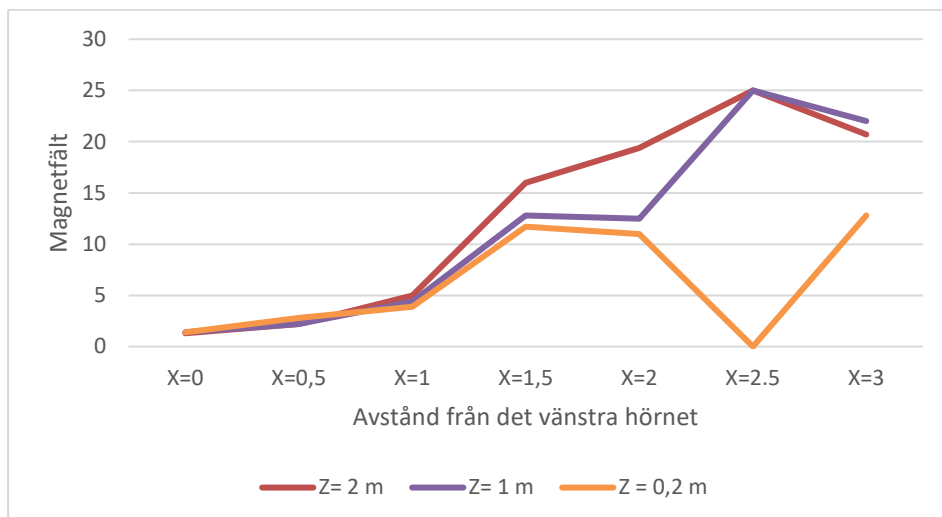
Figur 36. Magnetfält som funktion av avstånd.

Uppmätta resultat med mätinstrumentet på höger sida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 17.

Tabell 17. Uppmätta värden på höger sida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$ .

|           | X=0 m       | X=0,5 m     | X=1 m       | X=1,5 m      | X=2 m        | X=2,5 m      | X=3 m        |
|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Z= 2 m    | 1,3 $\mu$ T | 2,2 $\mu$ T | 5 $\mu$ T   | 16 $\mu$ T   | 19,4 $\mu$ T | 25 $\mu$ T   | 20,7 $\mu$ T |
| Z= 1 m    | 1,4 $\mu$ T | 2,2 $\mu$ T | 4,4 $\mu$ T | 12,8 $\mu$ T | 12,5 $\mu$ T | 25 $\mu$ T   | 22 $\mu$ T   |
| Z = 0,2 m | 1,4 $\mu$ T | 2,8 $\mu$ T | 3,9 $\mu$ T | 11,7 $\mu$ T | 11 $\mu$ T   | 13,3 $\mu$ T | 12,8 $\mu$ T |

Figur 37 visar grafer för de uppmätta värdena på tre olika höjder över marken.



Figur 37. Magnetfält som funktion av avstånd.

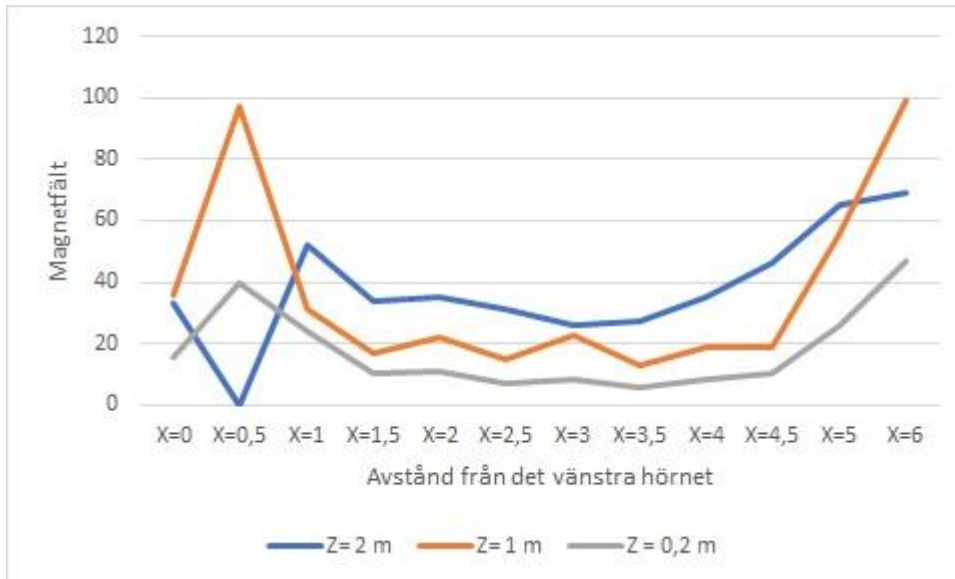
Uppmätta resultat med mätinstrumentet på baksida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 18.

Tabell 18. Uppmätta värden på baksida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$ .

|                  |              |                |              |                |              |                |
|------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|                  | <b>X=0 m</b> | <b>X=0,5 m</b> | <b>X=1 m</b> | <b>X=1,5 m</b> | <b>X=2 m</b> | <b>X=2,5 m</b> |
| <b>Z= 2 m</b>    | 33 µT        | >100 µT        | 52 µT        | 34 µT          | 35 µT        | 31 µT          |
| <b>Z= 1 m</b>    | 36 µT        | 97 µT          | 31 µT        | 17 µT          | 22 µT        | 15 µT          |
| <b>Z = 0,2 m</b> | 15,4 µT      | 40 µT          | 24 µT        | 10 µT          | 11 µT        | 7 µT           |
|                  | <b>X=3 m</b> | <b>X=3,5 m</b> | <b>X=4 m</b> | <b>X=4,5 m</b> | <b>X=5 m</b> | <b>X=6 m</b>   |
| <b>Z= 2 m</b>    | 26 µT        | 27 µT          | 35 µT        | 46 µT          | 65 µT        | 69 µT          |
| <b>Z= 1 m</b>    | 23 µT        | 13 µT          | 19 µT        | 19 µT          | 56 µT        | 99 µT          |
| <b>Z = 0,2 m</b> | 8 µT         | 6 µT           | 8 µT         | 10 µT          | 26 µT        | 47 µT          |

Figur 38 visar grafer för de uppmätta värdena på tre olika höjder över marken.





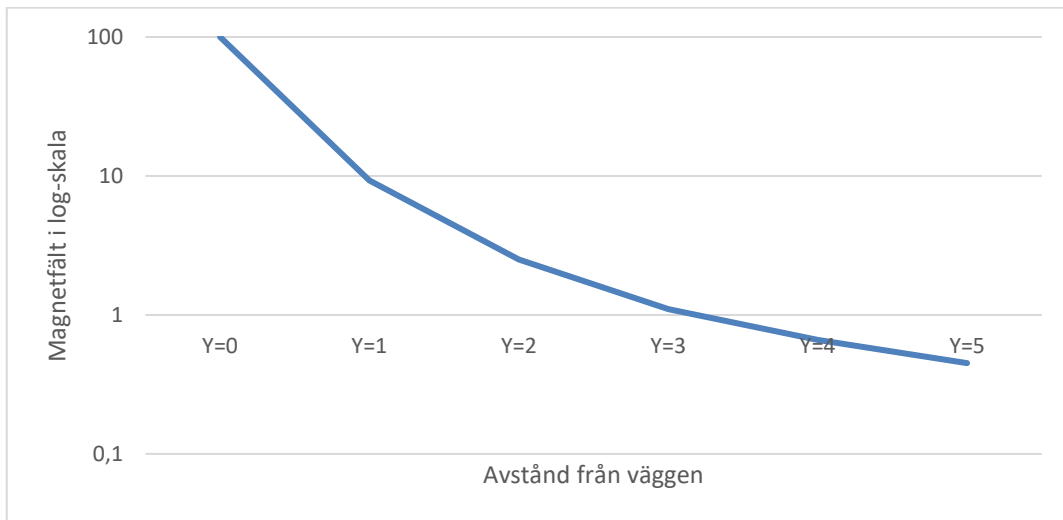
Figur 38. Magnetfält som funktion av avstånd.

Mätresultaten uppmätta på baksida vid den punkt som har högst värde sammanfattas i Tabell 19. För detta fall mäts värden som en funktion av avståndet från väggen, Y.

Tabell 19. Uppmätta värden på baksida vid den punkt som har högst värde, X=0,5.

|       | X=0,5 m |
|-------|---------|
| Y=0 m | >100 µT |
| Y=1 m | 9,3 µT  |
| Y=2 m | 2,5 µT  |
| Y=3 m | 1,1 µT  |
| Y=4 m | 0,66 µT |
| Y=5 m | 0,45 µT |

Figur 39 visar graf för de uppmätta värdena som funktion av avstånd från väggen.



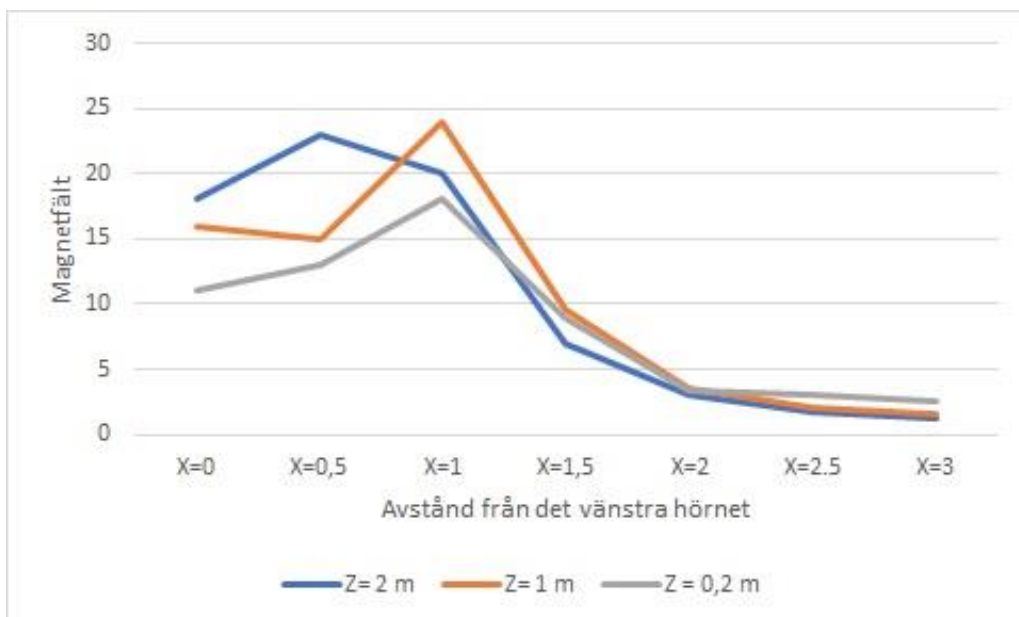
Figur 39. Magnetfält [ $\mu\text{T}$ ] som funktion av avstånd [m] från väggen.

Mätresultaten uppmätta på vänster sida dikt emot yttervägg sammanfattas i Tabell 20.

Tabell 20. Uppmätta värden på vänster sida dikt emot yttervägg,  $Y = 0$ .

|           | X=0 m            | X=0,5 m          | X=1 m            | X=1,5 m           | X=2 m             | X=2,5 m           | X=3 m             |
|-----------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Z= 2 m    | 18 $\mu\text{T}$ | 23 $\mu\text{T}$ | 20 $\mu\text{T}$ | 7 $\mu\text{T}$   | 3 $\mu\text{T}$   | 1,8 $\mu\text{T}$ | 1,2 $\mu\text{T}$ |
| Z= 1 m    | 16 $\mu\text{T}$ | 15 $\mu\text{T}$ | 24 $\mu\text{T}$ | 9,6 $\mu\text{T}$ | 3,6 $\mu\text{T}$ | 2,1 $\mu\text{T}$ | 1,6 $\mu\text{T}$ |
| Z = 0,2 m | 11 $\mu\text{T}$ | 13 $\mu\text{T}$ | 18 $\mu\text{T}$ | 8,9 $\mu\text{T}$ | 3,4 $\mu\text{T}$ | 3 $\mu\text{T}$   | 2,6 $\mu\text{T}$ |

Figur 40 visar grafer för de uppmätta värdena på tre olika höjder över marken.



Figur 40. Magnetfält som funktion av avstånd.

### 5.5.3. Kommentrar objektet Torshamnsgatan 25

På baksida av stationsbyggnaden är mätvärdena förhöjda på grund av lågspänningsstråken som passerar här.

Objektet visar i övrigt inga speciellt avvikande egenskaper utöver vad som kan förväntas utifrån storlek, byggnadsgeneration och byggsätt.

## 5.6. Sammanställning av mätobjekten

För de fem mätobjekt som har undersökts så kan den högsta uppmätta magnetfältsexponering för respektive objekt sammanställas enligt Tabell 21.

Tabell 21. Sammanställning av de högsta mätvärdena för respektive objekt.

|                        | <b>SL Tunnelbanan</b> | <b>Bersågränd 5</b> | <b>Maria Skolgata 50</b> | <b>Sorögatan 27</b> | <b>Torshamnsgatan 25</b> |
|------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| <b>Högsta mätvärde</b> | 100 $\mu$ T           | 17 $\mu$ T          | 8,9 $\mu$ T              | >100 $\mu$ T        | >100 $\mu$ T             |

En ambition har varit att dela in olika objekt utifrån byggsätt. Tyvärr har det inte gått att komma in på de olika stationerna och inspektera, förutom vid objektet SL Tunnelbanan. Av denna anledning har de flesta mätningar utförts på utsidan av objekten och det blir därmed svårt att analysera de systematiska variationerna i exponering beroende på anläggningarnas geometri.

Sammanfattningsvis går det att se en trend att de äldsta byggsätten ger högst exponering.

SL:s likriktarstation utgör ett extremfall som har hög installerad effekt.

Objektet i Kista, Torshamnsgatan 25, där höga fältkoncentrationer vid en yttervägg har observerats, kan sannolikt betraktas som representativt för ett relativt ogynnsamt byggsätt, vilket använder helt oskärmad materiel med stora strömmar i skenor vilka går dikt emot en vägg.

Objektet vid Sorögatan har speciellt höga mätvärden för ett (1) mätfall, nämligen högt upp mot backen vid suterräng. Sannolikt beror det på att huvudservisen passerar under på denna sida. Denna höga fältkoncentration torde då vara primärt orsakat av att fördelnings-skenor med höga strömmar är lokaliserade precis innanför väggen.

De övriga objekten utgör mellanformer vilka har relativt små installerade effekter och traditionella byggsätt.

## 6. Analys och slutsatser

Sammanställningen visar att det finns stora variationer i fältexponering från olika utföranden av nätstationer.

En orsak till att mätvärdena kan överskrida  $100 \mu\text{T}$  är otillräcklig skärmning av magnetfält. Detta bekräftas genom att de höga värden som uppmätts har varit vid platser utan skärningsåtgärder.

Det kan konstateras att ifall de byggsätt vilka hittills använts för friliggande nätstationer också skulle användas för inbyggda (eller ”inhysta”) nätstationer, skulle årsmedelvärdena kunna överskrida  $0,4 \mu\text{T}$ .

Genom de utförda mätningarna så har det även konstaterats att konsekvent användning av moderna byggsätt är gynnsamma för att minska magnetfältexponeringarna.

Genom att utföra dels fördelningsskenor och lågspänningsställverk på genomtänkta sätt, dels använda skärningsåtgärder för att nedbringa kvarvarande magnetfält, så går det att få ner exponeringen till nivåer vilka ligger långt under referensvärdena och som inte överskrider de magnetfält som finns i normal boendemiljö.

När moderna byggsätt samt skärningsåtgärder tillämpas blir resultatet att magnetfälten generellt sett inte blir tydligt förhöjda i förhållande till exponering i vanlig bostadsmiljö förrän inom ett par meters avstånd, se t.ex. räkneexempel i Tabell 3.

Inom ramen för denna undersökning fanns en ambition att jämföra teoretiskt beräknade värden för magnetfält med ett urval av mätningarna i Stockholm. Denna jämförelse har inte genomförts. Ett beräkningsunderlag för att schablonmässigt beräkna exponeringen har tagits fram. Det har dock inte funnits möjlighet att komma åt installationer där driftsdata är känd, dvs kännedom om hur mycket strömmar som flyter och det har heller inte gått att mäta på stigarskenor. SL:s anläggning är den enda som varit möjlig att mäta på, men den är inte helt representativ. En genomgående besvärlighet har varit möjligheten att få tillgång till olika typer av anläggningar för att på så sätt kunna jämföra verklighet och simuleringar.

En ytterligare lärdom är att för att få ner magnetfälten så räcker det inte bara med bra transformatorer utan även en bra övergripande design av nätstationen.

En strävan från tillverkare av transformatorer är att få ner mängden läckfält i syfte att få ner förlusterna. Transformatorer är av denna anledning en underordnad källa till magnetfältsexponering.

Mätningar har sammanfattningsvis utförts på fem objekt. Inget objekt har varit designat för att minimera fälten.

I samband med denna typ av installationer visar resultaten trots detta att endast i undantagsfall kan fältstyrkor observeras vilka tangerar referensvärdena.

## 7. Fortsatt arbete

Det går att identifiera några ytterligare områden vilka är värda att undersöka. Förslag på sådana områden är t.ex. följande:

- Nätstationer i anslutning till skolor och förskolor
- Bostäder intill inhysta transformatorstationer i övriga landet

En utökad studie skulle kunna utföras i Sverige i syfte att finna ut eventuella regionala skillnader i övriga landet. Detta kräver dock en större medverkan av nätägare. Ett första steg för ökat engagemang skulle vara att elnätsägare besvarar frågor i en enkät.

Ett sådant initiativ skulle då motsvara det som STUK gjorde i Finland (Puranen, 2015). Denna finska studie har ett större urval av konfigurationer, samt sträcker sig över en längre tidsperiod av konstruktioner än de som har kunnat studeras i Sverige.

Förslag till innehåll i enkät till elnätsägare:

- Vilket är det totala antalet nätstationer i elnätbolagets område?
- Antalet nätstationer som tillhör olika kategorier?
- Hur många nätstationer tillhörande kategorierna U1, U2 och M1 (enligt definition i (Puranen, 2015)) har förnyats under de senaste 10 åren?
- Hur många nätstationer tillhörande grupperna U1, U2 och M1 har planerats att förnyas under den kommande 5-års perioden?
- Hur är fördelningen mellan nätstationer tillhörande statliga och kommunala, respektive privata elnätbolag eller fastighetsägare i inom området?

Sannolikt finns det ett behov av stöd från myndighetshåll för att uppnå tillräcklig mängd svar på en enkät enligt ovanstående förslag.

## Referenser

- Armstrong, K. (2018, June 29). *Skin Effect and Surface Currents*. Retrieved from <https://incompliancemag.com/article/skin-effect-and-surface-currents/>
- Augustsson, T., & Estenberg, J. (2012). *2012:69 Magnetfält i bostäder*. Retrieved from Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM): <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/b8d919ebb95845bb84c5597c24cee763/201269-magnetfalt-i-bostader>
- Branimir Cucic, P. (2009). MAGNETIC FIELD IN THE VICINITY OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS. *International Colloquium Transformer Research and Asset Management* (p. 8). Cavtat, Croatia: Koncar - Distribution and Special Transformers Inc.
- EMFs.info. (2014). Retrieved from Electric and magnetic fields and health: <http://www.emfs.info/wp-content/uploads/2014/07/Howtocalculatethemagneticfieldfromathree.pdf>
- Engström, J. (2019). Btr. Konstruktör. (K.-A. Markström, Interviewer)
- Google Maps. (2020). Retrieved from <https://www.google.se/maps/@59.3413996,18.047032,14z>
- Hamnerius, Y. (2004). *Elektriska och magnetiska fält i byggnader*.
- Hamnerius, Y. (2015). *Kraftfrekventa magnetfält Hornsbruksgatan*.
- Kelemen, F., & Zarko, D. (2009). Modeling and Calculation of Electromagnetic Field in the Surroundings of a Large Power Transformer., (p. 15). Zagreb.
- (n.d.). *Magnetic shielding properties of Iron, aluminium and normal steel*. European EMC Products Ltd.
- NORMEL, E. I. (2018). *NORMEL Broschyr*. Retrieved from [http://staging.eldoninstallation.se/wp-content/uploads/2018/10/NORMEL\\_Broschyr\\_20181022-1.pdf](http://staging.eldoninstallation.se/wp-content/uploads/2018/10/NORMEL_Broschyr_20181022-1.pdf)
- Puranen, L. (2015). Exposure of General Public to Magnetic Fields of Indoor Transformer Stations in Finland. *Nordic NIR meeting on 3 – 4 November 2015* (p. 24). Helsinki: STUK Radiation and Nuclear Safety Authority.
- Salinas, E. (2001). *Mitigation of Power-Frequency Magnetic Fields, With Applications to Substations and Other Parts of the Electric Network*. Göteborg: Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology.
- Salinas, E., & Aspemyr, L. (1999). *Measurements and Reduction of 50 Hz Magnetic Fields from the New Substation at the Department of Electric Power Engineering*. Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- Stockholms stad. (2013). *Bygg- och plantjänsten*. Retrieved from <https://etjanster.stockholm.se/Byggochplantjansten/pagaende-planarbete/planarende/2013-16992>
- Svenska Kraftnät. (2020, 04 07). *Vår magnetfältspolicy*. Retrieved from <https://www.svk.se/aktorsportalen/samhallsplanering/var-magnetfaltspolicy/>

# Appendix

## A. Härledning approximativt uttryck för magnetisk flödestäthet

Nedanstående formel är en approximation som el-projektörer använder för beräkning av magnetisk flödestäthet ( $B$ ) runt ledare och stigare:

$$B = 0,35 \frac{Id}{a^2}$$

I ekvationen ovan är  $I$  strömmen genom fasledaren,  $d$  är avståndet mellan fasledarna och  $a$  är avståndet till mätpunkten.

Formeln gäller approximativt för alla vinklar när avståndet mellan ledarna jämfört med avståndet till mätpunkten är litet (mindre än  $a/10$ ). Vid små avstånd till mätpunkten uppstår ett maximum vinkelrätt mot fasledarnas plan.

Härledning av detta approximativa uttryck utgår ifrån en beskrivning för beräkning av magnetisk flödestäthet från en trefaskrets och som återfinns i (EMFs.info, 2014). Denna härledning tar i beaktande de tre faserna som vardera delas upp i två delar; i och ur fas, samt att varje sådan del i sin tur kan delas upp i en x- och y-komponent som vardera ger ett bidrag till  $B_x$  och  $B_y$ . Totalt fås därmed  $3 \times 2 \times 2 = 12$  stycken komponenter som bidrar till  $B_{total}$ .

$B_{total}$  kan skrivas som:

$$B_{total} = \sqrt{B_{in,x}^2 + B_{in,y}^2 + B_{out,x}^2 + B_{out,y}^2}$$

$B_{out,y}$  består av magnetfältet i y-riktningen från ur-fas-delen för vardera av de tre faser och kan skrivas som:

$$B_{out,y} = \frac{\mu_0(x+d)}{2\pi((x+d)^2+y^2)} \cdot \frac{-\sqrt{3}}{2} I + \frac{\mu_0 x}{2\pi(x^2+y^2)} \cdot 0 \cdot I + \frac{\mu_0(x-d)}{2\pi((x-d)^2+y^2)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} I$$

I uttrycket ovan är andra termen noll, så denna term försvinner.

De tre ledarna är åtskilda med avståndet  $d$  i x-riktningen. Gör det förenklade antagandet att  $x=0$ , vilket innebär ett specialfall där maximala fältet är vinkelrätt mot de tre ledarnas fördelnings längs med x-axeln.

Första termen förenklas till följande uttryck:

$$B_1 = \frac{\mu_0 d}{2\pi(d^2 + y^2)} \cdot \frac{-\sqrt{3}}{2} I$$

Det uttryck som ska härledas ska gälla för fallet att avståndet mellan ledarna är mycket mindre än avståndet till mätpunkt, dvs  $d \ll y$ . Uttrycket förenklas då ytterligare till:

$$B_1 = \frac{\mu_0 d}{2\pi y^2} \cdot \frac{-\sqrt{3}}{2} I$$

På motsvarande sätt blir tredje termen förenklad till följande:

$$B_3 = \frac{-\mu_0 d}{2\pi y^2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} I = B_1$$

Approximativa uttrycket för  $B_{out,y}$  blir då:

$$B_{out,y} = B_1 + B_3 = 2 \frac{-\mu_0 d}{2\pi y^2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} I = -\frac{\sqrt{3}\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{Id}{y^2}$$

Nästa term  $B_{out,x}$  består av magnetfältet i x-riktningen från ur-fas-delen för vardera av de tre faser och kan skrivas som:

$$B_{out,x} = -\frac{\mu_0 y}{2\pi((x+d)^2 + y^2)} \cdot \frac{-\sqrt{3}}{2} I - \frac{\mu_0 y}{2\pi(x^2 + y^2)} \cdot 0I - \frac{\mu_0 y}{2\pi((x-d)^2 + y^2)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} I$$

I uttrycket ovan är andra termen noll, så denna term försvinner. Förutsättningen att  $x=0$  ger att första och andra termen ovan är lika stora men med motsatt tecken, vilket medför att  $B_{out,x} = 0$ .

Nästa term  $B_{in,x}$  består av magnetfältet i x-riktningen från i-fas-delen för vardera av de tre faser och kan skrivas som:

$$B_{in,x} = -\frac{\mu_0 y}{2\pi((x+d)^2 + y^2)} \cdot \frac{-1}{2} I - \frac{\mu_0 y}{2\pi(x^2 + y^2)} \cdot I - \frac{\mu_0 y}{2\pi((x-d)^2 + y^2)} \cdot \frac{-1}{2} I$$

Förutsättningen att  $x=0$  ger följande förenkling:

$$B_{out,x} = \frac{\mu_0 y I}{2\pi} \cdot \left[ \frac{1}{2(d^2 + y^2)} - \frac{1}{y^2} + \frac{1}{2(d^2 + y^2)} \right]$$

Med tidigare antagande att  $d \ll y$ , kan uttrycket förenklas ytterligare genom att inse att summan av första och tredje termen är lika med andra term, fast med motsatt tecken. Detta innebär att summan inom parentesen är lika med noll, dvs  $B_{in,x} = 0$ .

Fjärde och sista termen är  $B_{in,y}$  och består av magnetfältet i y-riktningen från i-fas-delen för vardera av de tre faser och kan skrivas som:

$$B_{in,y} = \frac{\mu_0(x+d)}{2\pi((x+d)^2 + y^2)} \cdot \frac{-1}{2} I + \frac{\mu_0 x}{2\pi(x^2 + y^2)} \cdot I + \frac{\mu_0(x-d)}{2\pi((x-d)^2 + y^2)} \cdot \frac{-1}{2} I$$



Med förutsättningen att  $x=0$  så ger det att andra termen i uttrycket ovan är noll, så denna term försvinner. Vidare blir första och tredje termen ovan lika stora men med motsatt tecken, vilket medför att  $B_{in,y} = 0$ .

För fallet  $x=0$  så blir alltså alla bidrag till  $B_{total}$  lika med noll, förutom  $B_{out,y}$ .

I uttrycket för  $B_{out,y}$  införs värdet för  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  samt att avståndet från ledarna till mät-punkten sätts till  $y = a$ , vilket ger följande uttryck:

$$B_{out,y} = -\frac{\sqrt{3} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{Id}{a^2} \approx -0.35 \frac{Id}{a^2}$$

Det eftersökta  $B_{total}$  fås genom att ta beloppet av  $B_{out,y}$  eftersom övriga termen i formeln för  $B_{total}$  inte ger något bidrag. Uttrycket blir då den approximativa formel som detta avsnitt avser att härleda, nämligen:

$$B = B_{total} = 0,35 \frac{Id}{a^2}$$

## **B. Direktiv från Ellevio till fastighetsägare och byggherrar**

Funktioner att beakta vid ny eller ombyggd nätstation med avseende på miljö, säkerhet och tillgänglighet.

### **Allmänna förutsättningar**

Målgrupp är samarbetspartners i plan- och byggprocessen.

Ellevio AB nätplanering vill på detta sätt informera genom att belysa några av de viktigaste aspekterna vid etableringen av ny, flyttad eller ombyggd nätstation för att tillgodose krav på miljö, säkerhet och tillgänglighet.

Informationen överlämnas som ett komplement i formella och informella skeden som t.ex. förstudie, samråd och ledningssamordningsmöte. Syftet är att i tidig dialog uppnå större förståelse för nätstationers grundläggande funktionsbehov.

### **Tillgänglighet**

#### **Utrymningsvägar – personalsäkerhet**

#### **Tillträdesvägar - åtkomst för drift och underhåll**

#### **Tillgänglighet - bärighet i angörande väg**

#### **Ventilation - nätstation måste kunna ventileras**

#### **Reservkraft - extern generator måste kunna kopplas in**

#### **Nätstationer i lokalnät**

Nätstationer dimensioneras efter planerade effektuppgifter som kan utgöras av antal lägenheter, verksamhetsbeskrivning, uppvärmningssätt. I fall med tyngre laster som t.ex. eluppvärmning, storkök, datahallar eller liknande stora effekter blir det viktigare att tidigt definiera erforderlig effekt.

Tillfartsvägars utrymme för skrymmande transport samt tillräcklig bärighet har betydelse för etablering av ny nätstation och byte av nätstation. Det gäller också för möjlighet att koppla in och upprätthålla reservkraft med extern generator på trailer. Tung mobilkran används vid hantering av nätstationer och det är viktigt att hålla avståndet från väg med rätt bärighet till nätstationens placering så kort som möjligt. Större avstånd leder till högre bärighetskrav på vägen på grund av tyngre mobilkran.

Vid valet av läge för nätstation måste grundvattennivåer samt nivå i förhållande till vattendrag beaktas. Nätstation skall ges sådant läge att risken för exponering av vatten i samband med förhöjda vattennivåer minimeras. Kontakta oss i tidigt skede för avgörande av marginaler. Vi följer Länsstyrelsens rekommendationer för lägsta grundläggningsnivå längs Östersjökusten och vid Mälaren.

#### **Fristående nätstation**

Fristående nätstation är en standardiserad produkt med färgval. För att tillgodose behov för miljö, säkerhet och tillgänglighet behöver nätstationen följande förutsättningar.

- E-område anpassat efter planerad nätstationstyp samt placerat och orienterat så att elektriska parametrar kan innehållas för planerade ledningsvägar.
- Placering i förhållande till körbanor med hänsyn till arbetsmiljöskäl.
- U-område för kabelstråk så att detaljplan skyddar ledningsvägar.
- Högst 5 meter avstånd till väg med tillräcklig bärighet.
- Tillträde för reservkraft med extern generator på trailer.
- Ingen utsmyckning med plantor intill eller på nätstationens tak och sidor.

### **Inhyst nätstation**

När ingen annan lösning är möjlig för placering av nätstation återstår inhysning i byggnad. Ett tillgängligt utrymme minst 10x5 m behövs, kontakta oss för närmare beskrivning av utrymme. För att tillgodose behov för miljö, säkerhet och tillgänglighet behöver nätstationen placeras i markplan mot gata. Det i sin tur ger förutsättningar att klara nedanstående.

- Minimera brandbelastning och möjliggöra korta och tydligt märkta utrymningsvägar.
- Servituts utformning underlättas för parterna. Konsekvenser av fastighetsförändringar begränsas.
- Placering i förhållande till körbanor med hänsyn till arbetsmiljöskäl.
- Att transport kan angöra vid leverans av transformator, ställverk m.fl. utrustningar, samt att reservkraft går att etablera (vägens bärighet är avgörande).
- Ventilationsvägar och kabelvägar minimeras.
- Tillgång och närhet till kabelstråk säkerställs så att elektriska parametrar kan innehållas för planerade matningsvägar.
- I nätstationens utrymme får inte andra ledningslag än Ellevios förläggas.

### **Externa krav**

Myndigheters krav med avseende på magnetfält och buller ska alltid beaktas vid planerad byggnation. Det förutsätter att placering av nätstationer ges utrymme i plan och byggprocessen i ett tidigt skede. Kontakta alltid oss på ett tidigt stadium för en dialog kring placering av nätstationer.

Förutsättning för att inleda arbeten med ny nätstation

Definitiv lösning för placering av nätstation i form av byggavtal ska vara klar innan arbeten inleds. Förutom färdig teknisk lösning ska också servitutshandlingar vara undertecknade av parterna.

### **Maximala servislängder för stora serviser**

Information om maximal ledningslängd för serviser över 200 A.

Målgrupp är samarbetspartners i plan- och byggprocessen.

Ellevio lokalnät vill på detta sätt redogöra för hur lokalisering av nätstationer och stora serviser påverkas av avstånd. Syftet med informationen är att tydliggöra möjlig kabel-längd för stora effektuttag och anpassa nätstationers antal och lägen i detaljplan. Tanken är också att informationen används i planbeskrivning. Ändringar i detaljplan och verksamheter kräver en tidig avstämning av planerad effekt, lastegenskaper och nätstationers lägen.

Den elektriska effekten för abonnemang anslutna på lågspänning tas ut från nätstationer i elnätet. Faktorer som ökande effekter, energiomställning och elkvalitet ställer allt högre krav på elnätet. Med den utveckling vi ser måste elnätet byggas så att avståndet mellan nätstationer som mest blir strax över 100 m.

En konsekvens, när summan av de laster som ska försörjas överstiger 800 A för en fastighet, är att det behövs fler nätstationer. I de fallen måste kunden erbjuda utrymme för en nätstation i byggnaden. För stora direktserver är en inhyrd nätstation ett fördelaktigt alternativ då kabelförläggning i byggnad blir kortare och inte belastar allmän mark.

En nätstation innehåller en eller flera transformatorer. Där det tidigare kunde räcka med dubbla transformatorer i en nätstation kan allt oftare tre eller fyra transformatorer behövas i nätstationsutrymmet. En konsekvens blir då fler kablar och bredare kabelstråk. Bygger man istället fler nätstationer blir utrymmesbehovet för kanalisering i gata mindre.

Av tillförlitlighetsskäl kan inte transformatorer byggas hur stora som helst. Möjlighet till reservdrift med mobilt kraftverk blir dimensionerande och kräver därför fler och tätare lägen för nätstationer.

Förläggningssätt och avstånd från matande nätstation avgör vilken kapacitet som kan överföras av en servis. Avståndet påverkar både elkvalitet och kapacitet.

Ellevio vill redan i planeringsstadiet precisera vad som gäller för stora anslutningar. Som en riktlinje gäller att stora anslutningars servislängd begränsas till 100m. Laster med stor variation påverkar spänningsfall och kräver ett starkare nät. Som konsekvens blir då servislängd med bibehållen elkvalitet ännu kortare.

Det är många faktorer som måste jämkas för att ett väl fungerande elnät ska kunna byggas i planområdet. Kontakta alltid Ellevio lokalnät i tidigt skede om förutsättningarna för eldistribution i planprojektet.







Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen.

Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 300 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Publikationer utgivna av Strålsäkerhetsmyndigheten kan laddas ned via [stralsakerhetsmyndigheten.se](http://stralsakerhetsmyndigheten.se) eller beställas genom att skicka e-post till [registrator@ssm.se](mailto:registrator@ssm.se) om du vill ha broschyren i alternativt format, som punktskrift eller daisy.

**Strålsäkerhetsmyndigheten**  
171 16 Stockholm  
08-799 40 00  
[www.stralsakerhetsmyndigheten.se](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se)  
[registrator@ssm.se](mailto:registrator@ssm.se)

©Strålsäkerhetsmyndigheten