

# Solkurvans orsak och konsekvenser



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Teknik och samhälle

Opp: Anton Engström, Jonatan Borg, Philip Bergstrand

Examensarbete:

Amanda Holm

Malin Vik



© Copyright Amanda Holm, Malin Vik

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2018

## Sammanfattning

Sommaren 2018 var ett rekordvarmt år, och en markant ökning på solkurvor konstaterades av Trafikverket. Det finns flera orsaker till varför en solkurva uppstår, förutom den ökade temperaturen. När en solkurva bildas dras slutsatsen i många fall att anledningen endast är hög temperatur och vidare undersökningar utesluts direkt.

Detta examensarbete består till stor del av en litteraturstudie som behandlar den fysikaliska teorin, faktorer som leder till en solkurva samt konsekvenser av dessa. En sammanställning av Trafikverkets rapporter om solkurvor under de senaste åren ger en god överblick över antal och orsaker. Genom att granska Trafikverkets rapporteringssystem Ofelia nås en aktuell bild av hur solkurvor rapporteras idag. För att undersöka möjligheten att förutse en solkurva läggs solkurvornas orsak i fokus.

Målet med arbetet är att framhäva de bakomliggande faktorerna som orsakar en solkurva och därför läggs hög fokus på litteraturstudie samt statistik. Olika arbeten i spåret i form av underhåll beskrivs och hur det påverkar spåret. Utomstående personer som inte jobbar inom branschen ska kunna få en tydlig bild av solkurvans uppkomst och problemen som skapas i samband med detta. Det finns olika faktorer, där en eller flera kombinerat med ökad temperatur skapar solkurvor.

När en solkurva uppstår, är orsaken en eller flera bristande komponenter av dem som håller spåret på plats, alternativt att spåret utsätts för fler och/eller större krafter än vad det är konstruerat för. De vanligaste orsakerna under de senaste åren har varit ballastbrist, annan materialbrist eller som ett resultat av arbete i spår.

En av arbetets slutsatser är att sättet som solkurvor rapporteras på idag inte följer en tillräckligt tydlig standard. Solkurvor som läggs in i Ofelia är till stor del personligt beskrivna, vilket gör det svårt att kategorisera solkurvorna efter dess uppkomst. Med en bättre, mer standardiserad rapportering följer mer tillförlitlig statistik, något som kan hjälpa till att planera förebyggande underhåll och på så sätt minska antalet solkurvor.

Nyckelord: Solkurva, temperatur, längdutvidgning, faktorer, konsekvenser, statistik

## **Abstract**

The summer of 2018 was a hot year, a significant increase of sun curves was observed by Trafikverket. There are several reasons why a sun curve occurs, in addition to the high temperature. When a sun curve is formed, the conclusion is drawn in many cases that the reason was heat and no further investigations are made.

The project consists a literature study that explains the physical theory, factors that lead to a sun curve and the consequences thereof. A summary from Trafikverkets reports on sun curves over the last couple of years gives a good overview of the numbers and causes. Studying Trafikverkets reporting system Ofelia gives a picture of how a sun curves is reported today. To investigate the possibility of predicting a sun curve, the cause of the sun curves is put in focus.

The aim of the report is to highlight the underlying factors that cause a sun curve and therefore high focus is placed on literature study as well as statistics. People who do not work in the industry should be able to get a clear picture of the sun curve's emergence and the problems that are created in connection with it. There are various factors, where one or more combined with increased temperature creates sun curves.

When a sun curve arises, there are one or more defective components of those that hold the track in place, or that the track is subjected to more and/or larger forces than it is designed for. The most common causes in recent years have been lack of ballast, other material shortage or work in the tracks.

The conclusion is that the way in which sun curves are reported today does not follow a sufficiently clear standard. Sun curves that are documented into Ofelia are quite personalized; this makes it difficult to categorize the sun curves after its emergence. With better, more standardized reporting, better statistics follow, which can help to plan preventive maintenance and thus reduce the number of sun curves.

Keywords: Sun curve, temperature, thermal expansion, factors, consequences, statistics

## Förord

Examensarbetet (22,5 hp) avslutar studenternas högskoleingenjörsutbildning i byggt teknik med inriktning järnvägsteknik (180 hp) vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet är skrivet i samarbete med ÅF Infrastructure i Helsingborg under våren 2019.

Den otroligt varma sommaren med dess många solkurvor år 2018 gav idén till arbetet.

Vi vill rikta ett stort tack till Thomas Axelsson på ÅF som stöttade och uppmuntrade vår idé ända från start. Tack till alla på Järnvägsavdelningen på ÅF för härligt bemötande.

Vi tackar Andreas Persson från Lunds Tekniska Högskola som gett oss många bra tips och framför allt hjälp oss väldigt mycket med vårt skrivande.

Studenterna har skrivit sida vid sida under hela våren och fått en bred förståelse för området. Mycket diskussioner och teamwork har lett till ett kul arbetssätt och jämbördig fördelningen av arbetet.

Helsingborg, maj 2018.

Amanda Holm & Malin Vik

The image shows two handwritten signatures in black ink. The signature on the left is 'Amanda Holm' and the signature on the right is 'Malin Vik'. Both are written in a cursive, flowing style.



## **Lexikon**

<b>ATC-system</b>	Automatic train control / Säkerhetssystem
<b>Ballasteringstemperatur</b>	Den temperatur då spåret ballasteras
<b>Klämkraft</b>	Den axiella kraft med vilken två eller flera komponenter hålls samman.
<b>Neutraltemperatur</b>	Genomsnittlig temperatur för en viss geografisk plats
<b>Rälsmängd</b>	Uttrycket används för att beskriva hur den spänningsfria räslängden i spåret förhåller sig till neutrallängden
<b>Rälstemperatur</b>	Rälens temperatur mätt på räslivets skuggsida
<b>Rälsvandring</b>	Rälsvandring innebär att rälen förskjuts i förhållande till sliper/befästning vilket oftast förändrar den spänningsfria temperaturen
<b>SFT</b>	Spänningsfri temperatur, den temperatur då inga längdkrafter verkar i rälerna
<b>Spänningsfri temperatur</b>	Rälens temperatur då inga drag- eller tryckkrafter finns inuti
<b>STH</b>	Största tillåtna hastighet
<b>TDOK</b>	Trafikverkets tekniska dokument

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte	2
1.2	Frågeställningar	2
1.3	Metod	2
1.4	Avgränsningar	3
1.5	Rapportens upplägg	4
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>5</b>
2.1	Solkurva	5
2.2	Rälen	6
2.3	Värmeutvidgning	6
2.4	Sliprar och befästningar	7
2.5	Ballast	8
2.6	Skarvfritt spår	8
2.7	Skarvspår	8
2.8	Spänningsfri temperatur	9
2.9	Neutralisering	10
<b>3</b>	<b>Konsekvenser av solkurvor</b>	<b>11</b>
3.1	Hastighetsnedsättningar	11
3.2	Förseningar	11
3.3	Urspårning	12
3.4	Stopp i spåret	13
<b>4</b>	<b>Faktorer som bidrar till uppkomst av solkurvor</b>	<b>14</b>
4.1	Felaktiga kontroller	14
4.2	Geografisk placering	14
4.3	Kurvradie, hastighet och massa	15
4.4	Ballastbrist och materialutmattning	16
4.5	Värmeutvidgning	17
4.6	Fel spänningsfri temperatur	17
4.7	Slutsvetstemperatur	17
4.8	Arbete i spår	18
<b>5</b>	<b>Statistik på faktorer</b>	<b>19</b>
5.1	Statistik från Trafikverkets rapporter om solkurvor	19
5.1.1	Sliprar	19
5.1.2	Befästningar	19
5.1.3	Ballast, arbete och övriga delorsaker	20
5.2	Granskning av statistik i Ofelia	21
5.3	Orsaksbeskrivningar i Ofelia	22
5.4	Jämförelsen av temperatur och antal solkurvor	23

<b>6</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>26</b>
6.1	Rapportering av solkurvor .....	26
6.2	Statistik från Trafikverket.....	26
6.3	Förebygga faktorer som skapar solkurvor .....	27
6.4	Spårtyper och ballast .....	27
6.4.1	Sliprar .....	27
6.4.2	Befästningar.....	28
6.4.3	Ballast och arbete i spår.....	28
6.5	Metoddiskussion .....	29
<b>7</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>30</b>
7.1	Svar på frågeställning .....	30
7.1.1	Vilka faktorer gör att en solkurva uppstår? .....	30
7.1.2	När en solkurva uppstår, vilka kan konsekvenserna bli? ....	30
7.1.3	Finns det ett mönster eller ett samband vid en solkurvas uppkomst? .....	31
7.2	Rekommendationer .....	31
7.3	Vidare studier.....	32
<b>8</b>	<b>Källor</b> .....	<b>33</b>
8.1	Elektroniska referenser .....	33
8.2	Interna referenser .....	35
8.3	Skriftliga referenser.....	35



# 1 Bakgrund

Solkurvor är ett fenomen som många människor har en kännedom om, liksom vetenskapen om att det är något som uppstår under sommaren. De förknippas ofta med höga temperaturer, urspårningar och förseningar. Det är för de flesta känt att en solkurva uppstår när stålet i rälerna blir för varmt, vilket leder till att de expanderar och böjer sig.

Konsekvenserna kan bli allvarliga, livshotande och kostsamma. Allt detta är känner vi till. Det som kanske inte är lika bekant är de andra faktorerna och konsekvenserna som också tillhör fenomenet solkurva. Namnet solkurva är till viss del missledande då det endast leder tankarna till solen och temperaturen. I princip är själva värmeexpansionen den sista droppen som får bägaren att rinna över. En solkurva uppstår inte endast på grund av temperaturförändringar så länge spåret i sig är så kallat normenligt. Eftersom väderförhållanden inte går att påverka är det desto viktigare att se till de faktorer som går att kontrollera.

De största orsakerna är utslitna befästningar, sliprar eller bristande mängd ballast. En annan stor faktor är ofullständiga kontroller som i dagsläget är baserade på kontrollantens egna bedömningar och utvärdering. Det leder till att kontrollerna inte alltid blir konsekventa och därmed otillräckliga för att kunna förutse eller åtgärda en solkurva i tidigt skede.

I dagsläget skulle en solkurva kunna uppstå och en direkt slutsats skulle vara att den orsakats av värmen, men egentligen var det kanske ett spårarbete på sträckan 6 månader tidigare där spåret inte neutraliserades ordentligt som var upphovet till kurvan. Samma fel kan ha uppstått på samma plats tidigare och då felkategoriserats som till exempel ett baxfel. Åtgärden för ett baxfel är inte densamma som för en solkurva och kan istället ge upphov till att solkurvan kommer tillbaka. Detta är ett mönster som bör kunna upptäckas, förutsatt att dokumentation utförs på rätt sätt.

Urspårningar, förseningar, personsador och materialsador är några av de konsekvenser som kan uppstå när ett tåg kör in i en solkurva. Förutom utknäckningen (som är själva solkurvan) krävs det ofta stora reparationer av de skador på spåret som uppkommer av fordonen, något som till viss del kan motverkas med sänkt hastighet.

Sommaren 2018 var en av de varmaste på många år i stora delar av Sverige, vilket märktes tydligt i tågtrafiken. Enligt Trafikverkets statistikrapport blev det en markant ökning av solkurvor jämfört med tidigare år. I och med detta tog författarna beslutet att försöka gå till botten med problemen. Vilka faktorer kan bidra till en solkurva?

## **1.1 Syfte**

Examensarbets syfte är främst att klargöra de faktorer som kan ge upphov till solkurvor och kategorisera och jämföra dessa. Avsikten är att ta fram ett material som går att hänvisa till när fel uppstår. Denna studie är ett hjälpmedel som ska öka förståelsen kring solkurvor.

Ambitionen är att påbörja en handbok om solkurvor där orsaker och konkreta exempel tas upp samt riskanalys för orsakerna. Personer med tidigare grundläggande kunskap om solkurvor får ytterligare förståelse för problemen, samtidigt som övriga samhället får en insikt i vad som händer på sommaren och förhoppningsvis mer förståelse för förseningar. Arbetet ska kunna ligga som grund för att motverka solkurvor på ett bättre sätt.

## **1.2 Frågeställningar**

De problemställningar som arbetet anspelar på är följande:

- Vilka faktorer gör att en solkurva uppkommer?
- När en solkurva uppstår, vilka kan konsekvenserna bli?
- Finns det ett mönster eller ett samband vid en solkurvas uppkomst?

## **1.3 Metod**

Arbetet inleddes med en inläsning av dokument för att skapa en teoretisk förståelse om sommarproblematik i järnvägsanläggningar och spår. Målet med denna delen av litteraturstudien var att hitta vilken infallsvinkel och vilken del som en fortsatt djupdykning skulle fokuseras på. Efter den grundläggande inläsningen av generell sommarproblematik, påträffades angreppspunkten för litteraturstudien i arbetet, solkurvor. Examensarbetet består till stor del av en litteraturstudie som behandlar den fysikaliska teorin, faktorer som leder till en solkurva samt konsekvenser av dessa. Detta för att skapa en omfattande grund

för läsaren. Mycket av informationen som använts kommer från Trafikverkets publikationer på deras hemsida samt tekniska dokument som förklarar standarder för järnvägsanläggningen. Kompletterande källor till litteraturstudien inhämtas från Internet.

Efter litteraturstudie gjordes en statistikstudie. En sammanställning av Trafikverkets rapporter om solkurvor under de senaste åren ger en god överblick över antal och orsaker.

Genom att granska Trafikverkets rapporteringssystem Ofelia nås en direkt bild av hur solkurvor rapporteras idag. Det finns mycket varierande data i Ofelia, även kvaliteten är varierande. Efter en solkurva har rapporterats hittas informationen om solkurvan i Excel där rader och kolumner sorterar upp solkurvas position, tid och egenskaper. Detta sätt ger en total överblick där alla kan nå den information som yrkesarbetare eller besiktningsman har uppfattat på plats. Positionen för solkurvan beskrivs med bandel, spårnummer, km-tal och längd. Hur solkurvan uppstått, åtgärdats och besiktigats rapporteras också, något som saknas är uppföljning. Målet med arbetet, som tidigare nämnts, är att undersöka möjligheten att förutse och förebygga solkurvor, och därför granskades orsakerna mer noggrant.

#### **1.4 Avgränsningar**

Examensarbetet kommer behandla uppkomst, konsekvenser och åtgärder av solkurvor. Arbetet kommer inte handla om några andra problem som uppstår under sommaren. Det kommer heller inte att ta hänsyn till någon detaljerad ekonomisk aspekt kring problemet eller de materialkostnader som kan uppstå. Solkurvorna betraktas ur perspektivet "Sverige som helhet" och specifika geografiska positioner kommer inte beaktas, ej heller internationella erfarenheter.

De två författarna har studerat solkurvornas effekt i banan, spåret och underbyggnaden. En jämförelse har gjorts mellan träsliprar och betongsliprar samt för de vanligaste befästningarna i Sverige.

## 1.5 Rapportens upplägg

Examensarbetet är uppbyggt i två delar samt en introducerande del med bakgrund, syfte med mera. Första delen är en litteraturstudie som samlar ihop och sammanställer faktorer som kan ge upphov till en solkurva. Faktorerna delas upp och presenteras i egna stycken. Likaså görs gällande de konsekvenser som uppstår. Teori, faktorer och konsekvenser presenteras i form av kapitel.

I del två tas konkreta exempel fram i form av verkliga solkurvor som uppstått i Sverige under de senaste åren. Deras orsaker speglas tillbaka till faktorerna i del ett för att kategorisera solkurvorna. Här beskrivs hur solkurvor åtgärdats, presenteras och förklaras. I slutet av del två tas även samband fram för att försöka hitta ett mönster hos olika solkurvor eller mellan tidigare arbeten i spår som kan ha orsakat solkurvan.



## 2 Teori

Detta kapitel beskriver några av de fysikaliska lagar som verkar i ett järnvägsspår. För att ge läsaren en grundlig förståelse för solkurvor beskrivs järnvägsspårets uppbyggnad, olika typer av spår med dess olika material.

### 2.1 Solkurva

En solkurva är en lokal utknäckning eller sidoförskjutning av spåret som uppstår när ett spår inte kan stå emot tryckkrafter i spårets längdriktning. Det är inte bara solen och dess värme som kan orsaka spåret dess utknäckning utan det finns även andra faktorer som bidrar. Värmen från solen bidrar endast med ökade tryckkrafter i spåret, vilket i kombination med andra faktorer kan leda till att solkurva uppstår (Trafikverket 2015a). Spårets lokala utknäckning måste ha förskjutits i sidled 25 mm på en sträcka av 10 m för att klassas som en solkurva. Solkurvan uppstår alltså när det blir för höga tryckkrafter på rälerna, påfrestningen på rälsbefästningen blir för stor och krafterna pressar spåret utåt. Antingen kommer ballasten som håller fast slipern att ge efter eller så kommer befästningarna släppa och rälsen får en utknäckning.



Figur 1. Spåret har en lokal utknäckning innan en kurva, alltså en solkurva. Källa: SVT 2018a

Vanligtvis uppstår solkurvor på äldre spårtyper där räslängden är 30–40 meter med spikbefästning och grusmakadam, men solkurvor kan uppkomma på alla typer av spår. I närheten av fasta spårdelar, såsom växlar, är det störst risk för

att solkurvor uppkommer, där kan inte rälsen vidga sig på längden och sidokrafterna blir mycket stora (Trafikverket 2016).

## 2.2 Rälén

Rälerna i en järnvägsanläggning är tillverkade av valsat stål. Eftersom stålet har en elastisk struktur deformeras det efter tryck och drag. Strukturen i stålprofilen behöver därför bearbetas och detta görs med hjälp av valsning. Valsning betyder att stålet pressas mellan två roterande cylindrar och ändamålet är att materialet ska ändra dimension, form, inre egenskaper, hållfasthet och ytbeskaffenhet (Jernkontoret 2016).

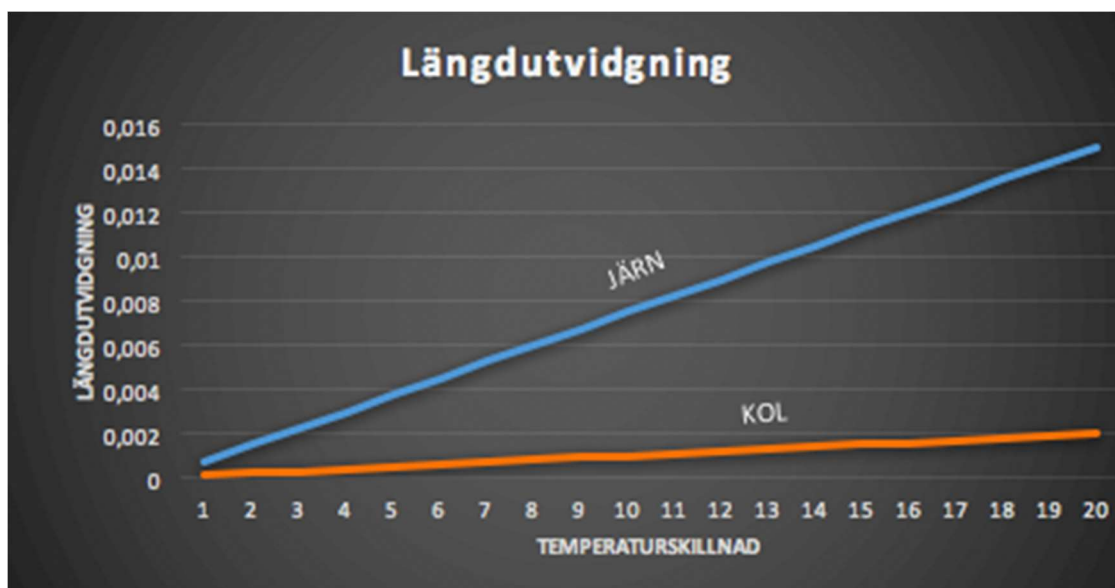
## 2.3 Värmeutvidgning

Stål är ett material som mestadels består järn och kol. Det tillsätts kol till järnet för att skapa ett hårdare material då järn är relativt mjukt. Kolet fungerar som ett bindande material och mängden kol i stålet avgör vilka egenskaper rälerna kommer att få. Ett högt kolinnehåll skapar starka och hårda rälér men dessa blir också sprödare än rälér med lägre kolinnehåll. Sprödhet kan framförallt orsaka problem som rälsbrott på vintern vid låga temperaturer, någon som inte kommer granskas vidare i denna studie (Åstedt 2009).

Rälernas hårdhet anpassas efter de fordon som huvudsakligen ska använda spåret. En för hård räl skapar onödigt slitage på hjulen samtidigt som den elastiskt sett klara temperaturförändringar bättre (Trafikverksskolan 2018a).

Hur stålet agerar vid temperaturförändring beror på dess utvidgningskoefficient, alltså hur stålet förändras storleksmässigt i förhållande till temperaturen. Detta kallas termisk expansion. Olika material expanderar olika mycket beroende på dess längdutvidgningskoefficient ( $\alpha$ ). Järn har mycket större  $\alpha$  och expansionsförmåga än kol (Åstedt 2009).

Den totala längdutvidgningen beräknas genom:  $\Delta l = l_1 \times \alpha(t_2 - t_1)$



Figur 2: Förhållandet mellan längdutvidgning och temperatur. Källa: Egen 2019

Där  $\Delta l$  är den totala längdutvidgningen av rälen,  $l_1$  är rälets ursprungslängd och  $(t_2 - t_1)$  är skillnaden i temperatur.

Det vill säga om det skulle vara 20 °C på natten och sedan stiga till 40 °C mitt på dagen, så expanderar en 50 meter lång rälsdel med över 1 cm om man beräknar  $\alpha_{STÅL} = 11,5 \times 10^{-6}$  (Trafikverket 2014)

$$\Delta l = 50[m] \times 11,5 \times (10^{-6}) \times (40 - 20)[^{\circ}C]$$

$$\Delta l = 0,0115 m = 1,15 cm$$

## 2.4 Sliprar och befästningar

Sliper är en balk som håller fast rälerna. Balken fördelar också spårets last över ballasten. Sliprar tillverkades från början av trä, idag är det betongsliprar som dominerar, dock byggs en del godsbanor fortfarande med trä. Vid tillverkning av träsliprar används helst hårt trä, som ek eller bok. Ibland används furu då detta är billigare, dock inte lika hållbart. Med högre hastigheter och tyngre laster krävs något mer hållfast än trä, där av togs betongsliprar fram. I grova drag kan träsliprar kategoriseras till gamla spår och betongsliprar till nya spår. Betongsliprar väger cirka 260 kg och innehåller ingjutna armeringskorgar (hopflätade ställinor). Stålet tillsammans med betongen skapar en slittålig och stabilare sliper. I betongen gjuts

rälsbefästningarna in istället för att skruvas fast, som i träet, vilket också ger högre kvalitet (Järnväg.net u.å.).

Det finns många typer av befästningar, här presenteras de vanligaste på den svenska järnvägen. Heyback-befästningar används på träsliprar och är den vanligaste befästningen på sliprar av trä. För betongsliprar är Pandrol E-clip den vanligaste och går under namnet "Pandrol". Numera används Pandrol Fast-clip som en nyare variant. Fist används på betongsliprar och var förr standardbefästning för SJ betongsliprar. Fist-befästningen är simpel men med en tendens att spricka, den har ersatts av Hambo-befästningen. Spikbefästning används endast på träsliprar (Trafikverket 2015b).

## **2.5 Ballast**

Ballast är det lager som rälerna och sliprarna vilar på, det består av grus eller vanligtvis makadam. Ballasten har många funktioner såsom motstånd vid vertikalt- och horisontaltryck. Den ska vara elastisk, fördela trycket från sliprarna, skydda mot erosion och dränera spåret. Ballasten ska även vara termiskt isolerande, vilket kan motverka solkurvor (Sydsten u.å.).

## **2.6 Skarvfritt spår**

Spåret kan vara antingen skarvat eller skarvfritt. Ett skarvfritt spår betyder att rälsdelarna är hopsvetsade och att det inte finns något mellanrum för rälsen att ändra sig i längd. Vid varmare och kallare temperaturer uppstår längsgående tryckkrafter och därför måste sliprarna vara motståndskraftiga. Rälsen måste fästas med kraftiga befästningar i slipern och ligga i tungt packad makadamballast för att ge varje sliper längd- och sidoförkjutningsmotstånd (Trafikverket 2015a). Ett helsvetsat spår ger högre komfort för resenärer i jämförelse med ett skarvspår. Det uppstår mindre slitage vid körning på skarvfritt spår vilket leder till lägre underhållskostnader för både spår och fordon. (Trafikverket 2014).

## **2.7 Skarvspår**

Ett skarvspår innebär att det lämnas en öppning på max 20 mm mellan rälsdelarna, det gör att rälsen har viss möjlighet att vidgas när det är varmt och förminskas när det är kallt. Vid högre temperatur kan skarvöppningen sluta sig

och skarvförbandet slutar att fungera, rälsen får då samma egenskaper som ett skarvfritt spår. Ett skarvspår kan utsättas för rälsvandring vilket innebär att rälen förskjuts i förhållande till slipern/befästningen vilket förändrar tryckförhållandena i spåret. Detta sker då rälsbefästningarnas motstånd är otillräckligt (Trafikverksskolan 2017). I en del fall förflyttas hela spåret. Det kan också vara endast rälen som släpper från befästningen eller slipern som förflyttas i ballasten. I ett skarvspår med spikbefästning är längdförskjutningsmotståndet relativt lågt, det kan leda till att rälerna lätt förskjuts när tung trafik passerar vilket skapar rälsvandring. Detta i kombination med långa räler (över 20 m) kan bilda stora längsgående krafter, något som ökar risken för solkurvor eftersom rälen vill knäcka utåt (Trafikverket 2013). För att motverka rälsvandring kan rälsvandringshinder monteras vid slipern, mot längdvandringsriktningen, för att skapa extra motstånd.

## 2.8 Spänningsfri temperatur

För att ha kontroll över hur rälsen kommer att bete sig vid olika temperaturer skapar man en utgångspunkt. Detta kallas spänningsfri temperatur, SFT, och är den temperatur som rälen har när det inte finns några inre längsgående spänningar eller krafter. Den baseras på neutraltemperatur, som är en bestämd temperatur som mäts geografiskt och ska ligga max 5°C över rälsmedeltemperaturen i det geografiska området (Trafikverket 2016).

Tabell 1: Geografiska neutraltemperatursintervall. Källa: Trafikverket 2014

Geografiskt område	Neutraltemperatur, väljs inom intervallet
Skåne och utefter västkusten	16-20 °C
Övriga Götaland och södra/östra Svealand	14-18 °C
Norra Svealand och södra Norrlands kustland	12-16 °C
Södra Norrlands inland och norra Norrlands kustland	10-14 °C
Norra Norrlands inland	8-12 °C

Vädret är mildare i södra Sverige än i norr. Neutraltemperaturen blir därför olika mellan de geografiska områdena. Det ska bli så liten differens mellan

spänningsfria temperaturen och den varierade temperaturen i spåret som ändras med lufttemperaturen, därför måste neutraltemperatursintervallen vara olika i de olika delar av Sverige.

När neutraltemperaturen är fastställt för ett geografiskt område definieras den spänningsfria temperaturen. Den spänningsfria temperaturen ska ligga inom ett neutraltemperatursområde. Neutraltemperaturområdet är ett intervall från 3°C under till 7°C över neutraltemperatur.

## **2.9 Neutralisering**

När rälerna expanderar i längdled skapas enorma inre spänningar och krafter som kan tvinga ut rälen i sidled. För att åtgärda detta behöver spåret tas tillbaka till spänningsfritt läge och detta görs genom neutralisering.

Neutralisering innebär att en ungefär 1 km lång räl kapas upp, varpå den sedan frigörs och läggs på en rullanordning. Därefter kapas en uppmätt längd bort eftersom rälen i detta läge är "för lång". Efter det förankras en sida och sedan dras rälen ut med hjälp av en hydrauldragare. Slutligen knäpps rälen fast igen och svetsas ihop, den är då spänningsfri och i sin rätta rälsmängd (längd) igen (Infranord 2012). Detta är en effektiv åtgärd som görs när en solkurva har uppstått. Rälsdelen kommer förmodligen behöva kontrolleras ytterligare vid ett senare tillfälle eftersom den i detta läge är känsligare mot kontraktion. Vid neutralisering anpassas längden till den tillfälligt högre temperaturen vilket skapar problem när temperaturen sjunker. När en räl krymper ger det upphov till sprickor och bristningar, så kallade rälsbrott, och därför hålls rälsdelen under uppsikt efter en neutralisering.

### **3 Konsekvenser av solkurvor**

I Sverige finns det ingen maxgräns för hur varmt det får vara för tågtrafiken att köra utan besluten baseras på situationen och de risker som förutspås. Nedan presenteras konsekvenser som kan uppstå på grund av solkurva.

#### **3.1 Hastighetsnedsättningar**

En hastighetsnedsättning är när ett banavsnitt inte kan bruka sin STH (största tillåtna hastighet) eller den hastighet som framgår i banans ATC-system. Tillfälliga hastighetsnedsättningar är nedsättningar som inte finns med i linjebeskrivningen och som är tidsbegränsade (Trafikverket 2009). En hastighetsnedsättning behöver göras om tåggången riskerar att bli dålig. När hastigheten sänks i spåret blir det även lägre krafter som transporteras i rälsen vilket i sin tur ger en säkrare tåggång. Nedsättningarna kan vara över flera dagar och det behöver inte vara för konstaterade solkurvor utan kan även tillkomma vid misstänkt solkurva/dåligt spåräge.

Skulle en solkurva uppkomma eller om det finns en misstanke till utknäckning behövs en ET-nedsättning (extra tvingad nedsättning). En ET-nedsättnings användningsområden är vid arbeten i spåret, banstabilisering samt vid skador. Vid behov av en akut nedsättning, som oftast solkurvor är, tillämpas varianten förprojekterad ET. Nedsättningen kan sättas i antingen 40 km/h eller 70 km/h och granskas i efterhand då det är en akut handling (Trafikverksskolan 2018b).

#### **3.2 Förseningar**

Vid hastighetsnedsättning går tågen långsammare en bit av körsträckan vilket leder till att det tar längre tid. Detta resulterar i förseningar då tågen inte hinner ta igen tiden som går till spillo vid nedsättningen. Det kan handla om allt från timmar till dygn. Blir ett tåg försenat eller av någon anledning inställt leder det snabbt till en kedjereaktion då gångtabellen för tåg är komplex och mycket välplanerad. Det blir stora konsekvenser och svårt för lokförarna att ta ikapp den förlorade tiden. Punktligheten försämras på grund av solkurvor och värme på sommaren. I maj 2018, var det inte bara rekordvarmt (SMHI 2018), utan hade även sämst punktlighet sedan 2013. Endast 85,1 % av tågen kom i tid (Trafikverket 2019). Det ska tilläggas att det är inte bara solkurvor som ligger bakom detta, det kan vara exempelvis spårfel, planerade banarbeten och

signalfel. Punktlighet bestäms genom vilken andel som kommer fram till slutstation i rätt tid, och med rätt tid menas att tågen ankommer inom fem minuter efter ankomsttiden. Även inställda tåg ingår i statistiken som försenade tåg.

Kostnaden för en försening innefattar mer än bara skador, det är många som råkar ut för konsekvenserna som efterföljer förseningar och inställda tåg. Den förlorade tiden blir till en ekonomisk ersättning som drabbar många, såväl samhället, tågbolagen och den enskilde resenären. Ersättningen till den enskilda resenären kan variera beroende på hur lång tid tåget är försenat och hur lång sträcka resan innefattar (Konsumentverket 2018).

### **3.3 Urspåring**

Solkurvor kan orsaka allvarliga olyckor. Det handlar oftast om materialskador men i en del situationer sker även personskador och i värsta fall död (Banverket 2009).

En allvarlig konsekvens är urspåring som i sin tur kan leda till fler olika problem. Urspåring kan leda till allvarliga personskador. Spåret i sig tar ofta stor skada. Räler bryts loss från befästningar, farbanan skadas eller hela sliprar flyttas i ballasten av de krafter som uppstår. Det händer att endast de bakre vagnarna spårar ur och på så sätt drar med sig en bit av spåret.

Urspåringar kan skada den närliggande naturen. Träd och buskar kan förstöras och vattendrag förorenas av oljor eller läckage av andra väskor, både från vagnar och last. I varma perioder blir marken torr och brandrisken ökar. När transporter av brandfarliga ämnen välter kan det orsaka enorma bränder men även gnistor från hjul-räلكontakt kan ge upphov till brand (Trafikverket 2018c).

Fordon, vagnar och last kan förstöras när tåg välter. En vanlig händelse vid urspåring är att delar från fordon eller spår lossnar. Dessa delar utgör en fara för omgivningen då de kan slungas iväg med hög kraft och orsaka stora skador. När ett lok eller dess vagnar spårar ur går ofta underredet söder och kostsamma lagningar måste göras. Det gör också att tåget kan vara svårt att avlägsna från platsen och sträckor kan behöva vara avstängda under längre tid.



### **3.4 Stopp i spåret**

Att sitta fast på ett tåg kan vara traumatiskt på olika sätt. Oftast är det gamla, bebisar, sjuka eller funktionshindrade som kan ha svårt vid till exempel evakuering (Pettersson 2009). Ibland fastnar tåg, i mening “får inte köra vidare”, mitt ute på sträckor vilket medför att personal och passagerare vanligtvis inte kan gå av tåget. Varma sommardagar kan detta leda till höga temperaturer i vagnarna vilket kan vara stressande för människorna ombord. Framförallt traumatiskt kan det vara för lokförare av godståg, de arbetar ofta ensamma vilket innebär stort ansvar. Det innebär också att de inte finns någon direkt hjälp om olyckan är framme (SVT 2018b).

## 4 Faktorer som bidrar till uppkomst av solkurvor

Enligt Trafikverket, TRV, beskrivs orsaken till solkurvor nästan uteslutande som avvikelser från normenligt spår. Värt att notera är att detta konstaterades på den tiden då TRV hette Banverket. Det handlar om skick, konstruktion och/eller användning (Banverket 2008). I detta kapitel kommer de olika faktorerna presenteras och förklaras.

### 4.1 Felaktiga kontroller

Solkurvor rapporteras idag i Ofelia - Trafikverkets verktyg för återrapporering av utförda åtgärder samt allmän rapportering. Det finns också en del information om solkurvor att hämta i BESSY - Trafikverkets besiktningsssystem. Däremot har BESSY sällan tillräcklig information för att kunna förutse en solkurva. Rapporteringarna av solkurvor i Ofelia är individuellt bedömda och mycket information når inte den rätta mottagaren. Detta är en brist och inrapporteringen av en solkurva blir inte konsekvent (Trafikverket 2012) (Trafikverksskolan 2017). Problemet "solkurva" kan istället hamna i fältet Säkerhetsfel, i Verkligt fel, i fritexten under Beskrivning eller i fältet Orsak. Detta skapar svårigheter vid sökningar i systemet. Det är också svårt att genom informationen i Ofelia avgöra om det inrapporterade felet är en solkurva enligt definition eller egentligen ett dåligt spårläge. Hur en utknäckning benämns blir ofta en tolkningsfråga i kombination av tidigare erfarenhet, noggrannhet och kvaliteten på mätinstrumenten. En del skulle kalla en utknäckning för "misstänkt solkurva" medan någon annan skulle kalla samma fel för "baxfel". Det största problematiken i detta sker vid reparationen. Ett "baxfel" är en utknäckning >25mm där spåret fortfarande är inom SFT-intervallet. Ett sådant fel åtgärdas endast genom återbaxning vilket innebär att spåret inte kapas utan att det bara flyttas tillbaka. Återbaxning leder till att eventuella inre spänningar i rälererna kommer finnas kvar. Risken ökar då för återkommande utknäckning. Hur en solkurva bedöms är alltså en faktor till återkommande fel och grunden till besluten beror på kunnighet (Banverket 2008).

### 4.2 Geografisk placering

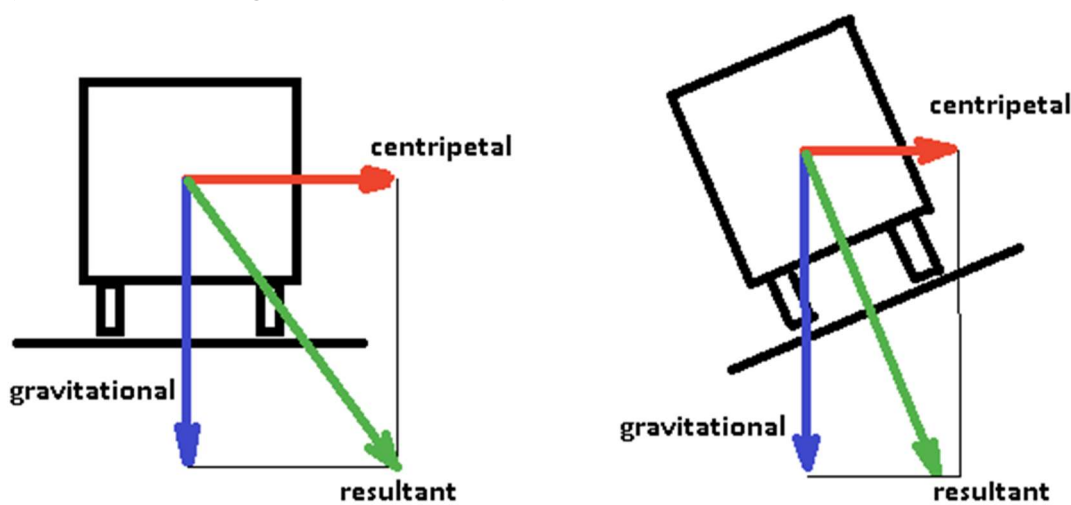
Var i landskapet spåret är placerat kan ha stor betydelse för den rärlstemperatur som uppstår. Det är vanligare att solkurvor inträffar i skärningar än på bankar.

Nord-sydliga skärningar brukar vara mer utsatta för hetta än öst-västliga då de öst-västliga ligger mer i skugga. Likaså är spår på sydliga sluttningar särskilt utsatta. Vid klara dagar kan ett sådant spår vara utsatt för sol under många timmar, vilket kan utgöra en typisk geografisk placering med ökad risk för solkurvor. Spår i sluttningar utsätts också för större krafter när fordon bromsar. Ett spår som ligger i lä för vind får snabbare hög temperatur (Trafikverket 2018c).

### 4.3 Kurvradie, hastighet och massa

Kurvor med en kurvradie mindre än 700 m, inklusive övergångskurvor, står för upp till 70 % av de konstaterade solkurvorna (Trafikverket 2018d). När ett fordon kör genom en kurva uppstår en centrifugalkraft. Centrifugalkraften är den kraft som strävar för att dra en roterande kropp bort från dess rotationscentrum. Detta är kraften som drar tågkroppen utåt och beräknas med formeln  $F = m \times \frac{v^2}{R}$ , där  $m$  är massan,  $v$  är hastigheten och  $R$  är kurvradien (Nationalencyklopedin u.å.).

För att kompensera kraften och flytta tyngdpunkten förhöjs ytterrälen, se figur 2 nedan. Hur mycket förhöjning som krävs beror alltså på kurvradien, fordonets massa och hastighet. Ju mindre radie, högre hastighet och större massa desto högre rälsförhöjning krävs på yttre räl. Meningen med rälsförhöjning är att motverka de laterala krafterna och minska krängningen av fordonet. I idealt fall tar tyngd- och centrifugalkraft ut varandra och en fullständig balans finns vid en viss hastighet, så kallad *balanserad hastighet* (Andersson, Berg & Stichel 2016).



Figur 3: Förflyttad tyngdpunkt på grund av förhöjd ytterräl. Källa StackExchange 2015

Problemet är att många olika fordon kör på samma spår och då alltså samma rälsförhöjning. Rälsförhöjningen blir fel för många av fordonen på banan. När spåret är varmt och har utsatts för sol under en längre tid uppstår utbuktningar relativt lätt utan att krafterna är stora (Trafikverksskolan 2018a). Det samma kan också ske vid kraftiga inbromsningar då fordonet "puttar" spåret framför sig.

#### **4.4 Ballastbrist och materialutmattning**

Ballastbrist är en känd faktor till solkurvor och utgör en stor del av orsaken till solkurvor. Spårstråk som har ofullständig ballast, vilket kan innebära mängdbrist eller dålig packning, är mer känsliga mot värme än spår med fullständig ballastering (Trafikverket 2015a). Spår som utsatts för arbete kan ha nedsatt tålighet i jämförelse med ett normenligt spår som inte utsatts för arbete.

Vid arbete i spåret kan strukturen i ballasten ändras och bli mindre motståndskraftig mot de vertikala och horisontella krafterna. Eftersom ballasten är mångfunktionellt löper det många risker ifall det rubbas vilket kan vara en bidragande faktor till solkurvor. Ifall stora temperaturvariationer (ca  $\pm 10$  °C) uppkommer under tiden mellan räsläggning och ballastering (om ballasten läggs efter spårläggningen) måste ballasteringstemperaturen antecknas då det kan vara nödvändigt till neutralisering innan slutsvetsning. Om ballasteringstemperaturen är utanför neutraltemperaturområdet måste neutralisering utföras annars blir det fel spänningsfri temperatur i spåret som i sin tur kan ge upphov till solkurva (Trafikverket 2014).

Sliprar och befästningar har en viss livslängd och vid åldrande minskar dess motståndskraft, även så hela spåret i sig. Betongsliprar riskerar att spricka med åren och befästningar rostar sönder (Trafikverket 2015b). Befästningar förlorar även sin klämkraft, det vill säga den axiella kraft som håller fast rälen, med åren. Motståndskraften beror även på slipertyp och befästningsmodell, olika kombinationer lämpar sig till olika ändamål. Tung trafik med hög hastighet kräver betongsliprar med motståndskraftiga befästningar, vid saknad av detta ökar risken för solkurvor.

## 4.5 Värmeutvidgning

En järnvägsräls är gjord av långa stålräler som antingen svetsas ihop till ett skarvfritt spår eller sätts ihop med skarvjärn med mellanrum. Stålet längdändras med temperaturen enligt de fysikaliska lagarna. När rälen värms upp expanderar den i längdled vilket leder till tryckkrafter och vid kyla kontraherar den och skapar dragkrafter. Spåret kan endast utvidgas i ändar där spåret har "tagit slut" eftersom det är där rälerna kan röra sig med temperaturen, ändarna kan vara exempelvis skarvarna, övergång till skarvspår eller övergång till bro (Trafikverket 2014). Övergångarna där ett skarvfritt spår "tar slut" kallas andningszon och övergångszonen mellan skarvspår och skarvfritt spår kallas buffertzonen.

## 4.6 Fel spänningsfri temperatur

Den spänningsfria temperaturen, SFT, är alltså den rälsstemperatur då inga längdkrafter verkar i rälerna och de är helt spänningsfria. Ifall SFT ändras kan det leda till längdändringar i spåret. Rälsen ska läggas i inom temperaturintervallet för dess neutraltemperatur. Den ska då vara spänningsfri men vid akuta reparationer eller vid hårt väder är det svårt att se till att detta sker på rätt sätt. Spänningarna i spåret kan ändras och då ändras den spänningsfria temperaturen också. Ifall hela spåret flyttas, så kallad spårvandring, ändras den spänningsfria temperaturen. Rälerna kan glida i befästningar som är i dåligt skick vilket kan innebära ändringar i den spänningsfria temperaturen.

Ny räls som läggs i med en viss spänningsfri temperatur kan förlängas av trafiken en viss del vilket gör att den spänningsfria temperaturen sänks med ca 3–4 °C (Trafikverket 2014).

## 4.7 Slutsvetstemperatur

När spåret ligger på sin slutgiltiga plats och SFT är beräknad ska spåret slutsvetsas. Temperaturen på slutsvetsningen ska ligga i området för neutraltemperaturen. Eftersom risken för solkurva anses vara värre än rälsbrott, måste temperaturen för slutsvetsning vara i områdets övre del för neutraltemperatur. Normenligt ska inte slutsvetsning ske utanför neutraltemperatursområdet (Trafikverksskolan 2017).

## 4.8 Arbete i spår

Ett trafikerat spår måste underhållas och underhållsarbetet måste planeras noga innan det kan utföras. Underhållsarbeten av skarvfritt spår styrs till viss del av temperaturförhållandena eftersom det både finns och kan uppstå krafter och spänningar i spåret. Det finns regler när ett arbete får utföras, det får inte vara för varmt eller för kallt om känsliga områden ska justeras. Arbete som tär eller ändrar på spårets läge i ballasten, så som spårriktning, sliperbyte, kabelgrävning får bara göras i temperaturintervallet  $-25\text{ °C}$  till  $+15\text{ °C}$  (Trafikverket 2014) alternativt kring spårets spänningsfria temperatur. Ifall den spänningsfria temperaturen eller slutsvetstemperaturen inte är säkerställd får inte rärlstemperaturen ligga över  $+25\text{ °C}$  och lägre än  $-5\text{ °C}$  (Trafikverket 2014) eftersom spänningar och krafter då kan ändras. Om arbeten sker utanför de godkända temperaturintervallerna finns det risk att spåret skadas och i sin tur kan leda till solkurvor.

Under varma perioder påbörjas arbetena tidigt på dygnet då temperaturen inte har kommit upp till en kritisk nivå. Arbeten såsom spårriktig kan avbrytas innan tillåten rärlstemperatur överskrids eftersom fler sliprar än normal följer med vid små lyfthöjder och sidoflyttningar kan uppstå. Ifall spårriktningen inte når önskat baxläge samt de tidigare problemen, nämnt ovan, är det stora spänningar som ligger i rärlerna. Bax menas med att arbetare flyttar spåret i sidled. Efter arbete som påverkat spårstabiliteten måste spåret neutraliseras. Spår som utsätts för värme i längre perioder där rärlstemperaturen blir över  $+30\text{ °C}$  och stabilitetspåverkande arbete har utförts måste både hastighetsnedsättning och besiktning genomföras (Trafikverket 2014).

Spår som utsätts för hög värme med en underbyggnad som ändrats är känsligt och vid arbete utsätts spåret för tunga maskiner och spårfordon som tär på spåret och är en bidragande faktor till solkurvor. Spårfordonen och maskinerna utger vibrationer och krafter på rärlsen som kan ge upphov till solkurvor. När spåret och underbyggnaden är känslig behövs det försiktighet med vilka maskiner och spårfordon som rör sig i spårområdet.

## 5 Statistik på faktorer

I detta kapitel presenteras statistik över solkurvor från Trafikverket, utdrag från Ofelia och SMHI:s temperaturstatistik.

### 5.1 Statistik från Trafikverkets rapporter om solkurvor

Nedan redovisas delar och materialtyper i spåret som ger störst upphov till solkurvor. Tabellerna är direkt tagna från Trafikverkets rapporter om solkurvor från år 2016, 2017 och 2018. Antalet solkurvor presenteras för varje år och delas in beroende på spårtyp. Huvudspår och sidospår har betydande skillnader i trafik därför delas dessa upp i olika kategorier. Underkategorierna delas upp i skarv- eller skarvfritt spår.

#### 5.1.1 Sliprar

Trafikverkets rapporter om solkurvor visar vilka typer av befästningar som har störst tendens till solkurvor.

- År 2016 inträffade 48 av 63 (76%) solkurvor på spår med träsliprar.
- År 2017 inträffade 16 av 18 (84%) solkurvor på spår med träsliprar.
- År 2018 inträffade 151 av 193 (78%) solkurvor på spår med träsliprar.

En mer specifik fördelning visas i tabellerna nedan, vidare diskuteras detta i kapitel 6.4 *Spårtyper och ballast*.

Tabell 2: Sammanställning av andel sliprar som var bidragande till solkurva under år 2016–2018. Källa: Trafikverket 2016b, 2017, 2018d

Slipers	2016			2017			2018		
	Betong	Trä	Totalt	Betong	Trä	Totalt	Betong	Trä	Totalt
Huvudspår	15	43	58	2	13	15	32	11	142
Skarvfritt spår	15	17	32	2	3	5	31	53	84
Skarvspår	0	26	26	0	10	10	1	57	58
Sidospår	0	5	5	0	3	3	10	41	51
Skarvfritt spår	0	3	3	0	3	3	9	25	34
Skarvspår	0	2	2	0	0	0	1	16	17
<b>Totalt</b>	<b>15</b>	<b>48</b>	<b>63</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>42</b>	<b>151</b>	<b>193</b>
%	24%	76%		11%	89%		22%	78%	

#### 5.1.2 Befästningar

Som tidigare nämnt i rapporten finns det många typer av befästningar för olika typer av spår. I tabellerna nedan presenteras statistiken för de vanligaste befästningarna i Sverige. Spik- och Heybackbefästning har störst tendens till

solkurvor och är även de mest använda på träsliprar. Pandrol, som används på betongsliprar, är den befästning men tredje störst sannolikhet till solkurva enligt statistiken från de senaste 3 åren. Mellan övriga befästningar såsom Fist, Hamob, Fast-clip eller "annan" är fördelningen relativt jämn.

Tabell 3: Sammanställning av andel befästningar som var bidragande till solkurva under år 2016–2018. Källa: Trafikverket 2016b, 2017, 2018d

Befästning	2016								2017								2018										
	Hayback	Pandrol	Spik	Fist	Hambo	Fastclip	Annan	Okänd	Totalt	Hayback	Pandrol	Spik	Fist	Hambo	Fastclip	Annan	Okänd	Totalt	Hayback	Pandrol	Spik	Fist	Hambo	Fastclip	Annan	Okänd	Totalt
Huvudspår	17	14	26	1	-	-	-	-	58	2	10	10	-	1	-	1	-	16	60	25	47	-	2	2	3	6	145
Skarvfritt spår	15	14	2	1	-	-	-	-	32	2	0	0	-	1	-	1	-	6	51	25	0	-	1	2	3	4	86
Skarvspår	2	0	24	0	-	-	-	-	26	0	10	10	-	0	-	0	-	10	9	0	47	-	1	0	0	2	59
Sidospår	5	0	0	0	-	-	-	-	5	3	0	0	-	0	-	0	-	3	29	9	11	-	0	0	1	51	
Skarvfritt spår	3	0	0	0	-	-	-	-	3	3	0	0	-	0	-	0	-	3	24	8	0	-	0	0	1	34	
Skarvspår	2	0	0	0	-	-	-	-	2	0	0	0	-	0	-	0	-	0	5	1	11	-	0	0	0	17	
<b>Totalt</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	-	-	-	-	<b>63</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	-	<b>1</b>	-	<b>1</b>	-	<b>19</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>58</b>	-	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>196</b>
%	35%	22%	41%	2%						26%	11%	53%		5%		5%			45%	17%	30%		1%	1%	2%	4%	

"-" betyder att det inte finns data.

### 5.1.3 Ballast, arbete och övriga delorsaker

I tabellerna nedan redovisas delorsaker till solkurvor, kolumnerna visar vad solkurvan berott på. "Annan orsak" och "Okänd orsak" är delorsaker som inte kan eller är definierade. Detta kan exempelvis bero på bristfällig rapportering av solkurvan. "Arbete" betyder att det skett en solkurva som delvis beror på att det varit arbete i spåret. "Materialbrist och övrig icke normenlighet" är en kategori där spåret inte är normenligt eller att det fattas något material som inte är ballast. Det ska noteras att detta är delfaktorer till solkurvor och beror inte endast på en av faktorerna.

Tabell 4: Sammanställd statistik över delorsaker till solkurvornas uppkomst under år 2016–2018. Källa: Trafikverket 2016b, 2017, 2018d

Orsak	2016							2017							2018						
	Materialbrist och övrig icke normenlighet	Ballastbrist	Arbete	Annan orsak	Okänd orsak	Totalt		Materialbrist och övrig icke normenlighet	Ballastbrist	Arbete	Annan orsak	Okänd orsak	Totalt	Materialbrist och övrig icke normenlighet	Ballastbrist	Arbete	Annan orsak	Okänd orsak	Totalt		
Huvudspår	24	35	18	4	1	82		7	8	11	0	1	27	65	75	36	4	10	190		
Skarvfritt spår	12	17	11	4	1	45		2	1	3	0	0	6	31	41	27	3	9	111		
Skarvspår	12	18	7	0	0	37		5	7	8	0	1	21	34	34	9	1	1	79		
Sidospår	0	0	1	1	1	3		0	0	0	0	3	3	21	19	12	0	11	63		
Skarvfritt spår	0	0	1	0	1	2		0	0	0	0	3	3	15	9	9	0	10	43		
Skarvspår	0	0	0	1	0	1		0	0	0	0	0	0	6	10	3	0	1	20		
<b>Totalt</b>	<b>24</b>	<b>35</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>85</b>		<b>7</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>30</b>	<b>86</b>	<b>94</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>253</b>		
%	28%	41%	22%	6%	2%			23%	27%	37%	0%	13%		43%	47%	24%	2%	11%			

Under de tre senaste åren har ballastbrist varit den mest frekventa orsaken till solkurvor totalt. 2016 och 2017 var det enbart huvudspår som drabbades av ballastbrist medan det 2018 även fanns sidospår som utsattes för solkurva med brist av ballast som delorsak. 2018 var ett år med väldigt mycket solkurvor, då hade nästan hälften (47%) ballastbrist som en delorsak till solkurva. 2017 var ett år med betydligt färre solkurvor och då endast 27% som hade delorsaken ballastbrist. På ett spår där vetskapen om ballastbrist finns får spårfordon



endast framförs vid en rälstemperatur på högst 40 °C med en hastighet på maximalt 40 km/h (Trafikverket 2014). Dessa restriktioner följs inte om ballastbristen inte är känd, och kan då leda till solkurvor.

Vid jämförelse av antalet solkurvor som delvis orsakats av “arbete i spår” visas det att 2016 och 2018 har 20–25%. År 2017 var andelen till 37% vilket är 13% fler jämfört med året efter. Det är spridda resultat av delorsaken, vilket gör det svårt att se ett orsaksmönster, vidare om detta i kapitel 6.4 *Spårtyper och ballast*.

Materialbrist och övrig icke normenlighet är en bred kategori, i “övrig icke normenlighet” ingår det mesta som gör att spåret inte är normenligt, dock inte ballastbrist eller något som uppstått på grund av arbete i spåret. Denna kategori var det, liksom “arbete”, två år som liknar varandra och ett år som skiljer sig, i detta fall 2016 och 2017. Andelen var 28% respektive 23% för de första 2 åren i tabellen, år 2018 skedde en ökning till 43%. År 2016 och 2017 är det endast huvudspår som har “Materialbrist och icke normenlighet” som delorsak till solkurva och alltså inte sidospår men år 2018 har både sidospår och huvudspår drabbats av solkurvor med delorsaken materialbrist och icke normenlighet.

“Annan orsak” och “Okänd orsak” är de orsaker som inte passar in i de föregående kategorierna eller där delorsaken är obekant. Dessa orsaker har stor variation och ospecificitet då delorsakerna inte är mer förklarade eller omtalade.

## **5.2 Granskning av statistik i Ofelia**

Under 10 år, från 2008–2018, inträffade 796 stycken konstaterade solkurvor i Sverige. 316 stycken av de konstaterade solkurvorna beskrivs ha inträffat på icke normenligt spår, som till exempel bristande befästningar, sliprar, spårsläpplage eller avvikande spänningsfri temperatur. 300 stycken inträffade på grund av ballastbrist. 281 stycken inträffade i samma område som tidigare spårarbeten utförts (Trafikverket 2018d). Observera att summan av det de två olika orsakerna är större än det sammanlagda antalet solkurvor på icke normenligt spår. De udda summorna beror antingen på att solkurvorna inträffat på grund av de båda orsakerna eller på otillräckligt ifyllda rapporter. I detta kapitel granskas tidigare solkurvor i Ofelia för att identifiera vilka problem som går att undvika, fel som upprepas eller fel som går att förebygga.

### 5.3 Orsaksbeskrivningar i Ofelia

En granskning gjordes av alla solkurverapporteringar från 2018 och en del slutsatser kunde dras angående orsaksbeskrivningen. Rapporterna är inlagda i Excel med två olika kolumner för orsaker samt en kolumn för personlig kommentar på felbeskrivning. Orsak+ har förutbestämda kategorier. Felbeskrivning och orsaksbeskrivning är baserade på personliga kommentarer.

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Modell	Verkligt fel +	Orsak +	Åtgärd +	Felbeskrivning	Orsaksbeskrivning	Åtgärdsbeskrivning			
	Solkurva	Brand	Ersättning		Typ brand, inte riktigt.. Men VARMT!				
	Solkurva	Brand	Ersättning						

Figur 4: Urklipp från Trafikverkets solkurverapportering 2018 i Ofelia. Källa: Egen 2019

De förutbestämda kategorierna för Orsak+ är:

- Bristfälligt underhåll
- Geotekniska
- Materialutmattning/åldring
- Olämplig konstruktion
- Opåräknad mekanisk påkänning
- Rälsvandring
- Brand
- Onormal temperatur
- Ingen känd orsak.

En personlig orsaksbeskrivning i Ofelia lyder till exempel “Typ brand, inte riktigt... Men VARMT!” eller “Växeln är helt slut, måste bytas ut” men det finns även kommentarer som “Makadambrist”. En felbeskrivning saknas ofta, som i tabellen ovan, men är i ett annat fall “Solkurva där vi tidigare har haft solkurva”. Genom sortering i Excel kan “orsak+”-data enkel presenteras. Detta skapar en god syn över hur stort antal solkurvor som uppstått av samma orsak. En stor brist i dokumentationen är att många solkurvor kategoriseras som “Ingen känd orsak” men med följande beskrivande kommentarer istället.

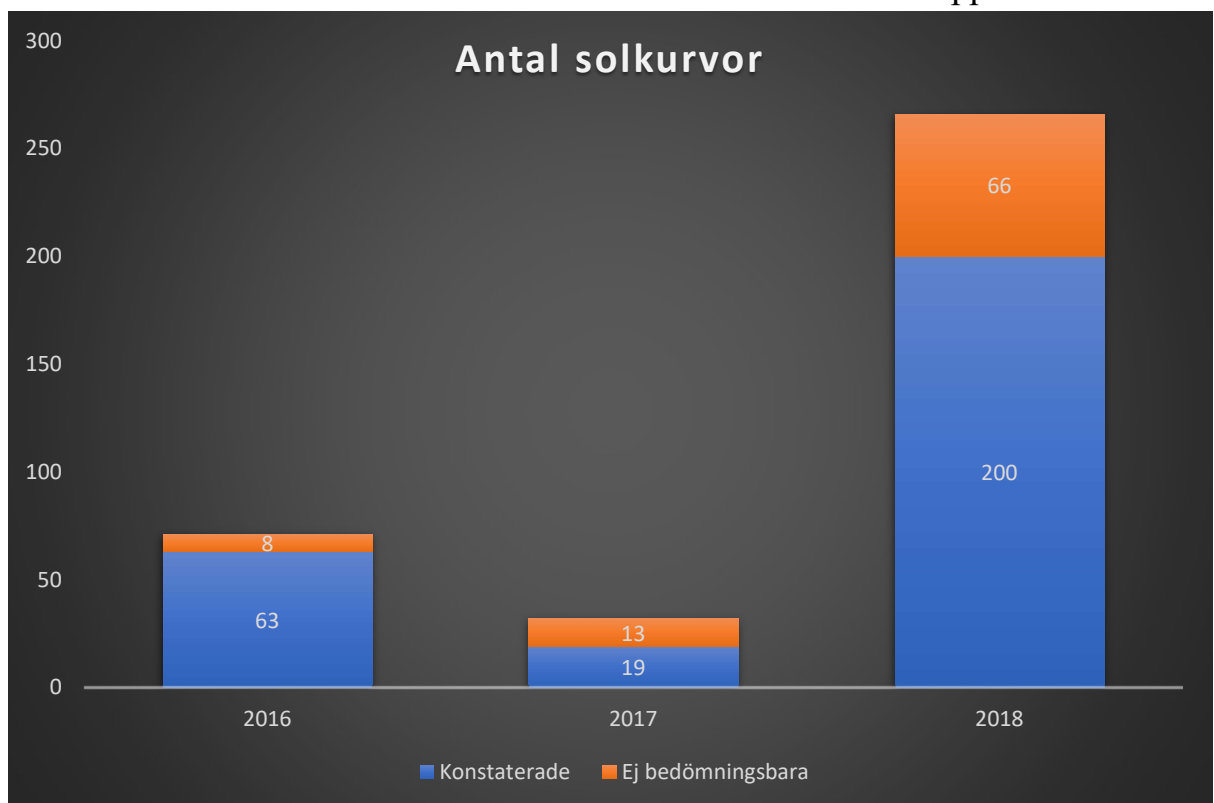
Orsak +	Åtgärd +	Felbeskrivning	Orsaksbeskrivning
Ingen känd orsak	Justering		Makadambrist
Ingen känd orsak	Justering	Solkurva	Hög temperatur
Ingen känd orsak	Justering		Hög temp
Ingen känd orsak	Spårriktning		

Figur 5: Okategoriserade solkurvor från Trafikverkets solkurverapportering 2018 i Ofelia. Källa: Egen 2019

Variationen i beskrivningen är stor vilket gör det svårt att sortera orsakerna. Solkurvan som uppstått vid makadambrist bör kategoriseras “bristfälligt underhåll” men hittas under kategorin “Ingen känd orsak”. Efter granskning av utdraget från Ofelia är det 22 fel som är rapporterade till felaktig kategori. 15 av de 22 felen är inlagda under “Ingen känd orsak” när de egentligen ska vara under “Onormal temperatur”, “Geotekniska” eller “Bristfälligt underhåll”. Det ska noteras att en solkurva kan uppstå på grund av flera faktorer vilket betyder att en solkurva kan vara svårkategoriserad, dock är detta inget skäligenligt motiv till att kategorisera på fel ställe. En diskussion om statistik som är felaktig/svårtolkad finns i kapitel 6.1 *Rapportering av solkurvor*.

#### 5.4 Jämförelsen av temperatur och antal solkurvor

Nedan görs en jämförelse mellan antal solkurvor och vädret de tre senaste åren. Statistiken om solkurvor är hämtade från Trafikverkets rapporter.



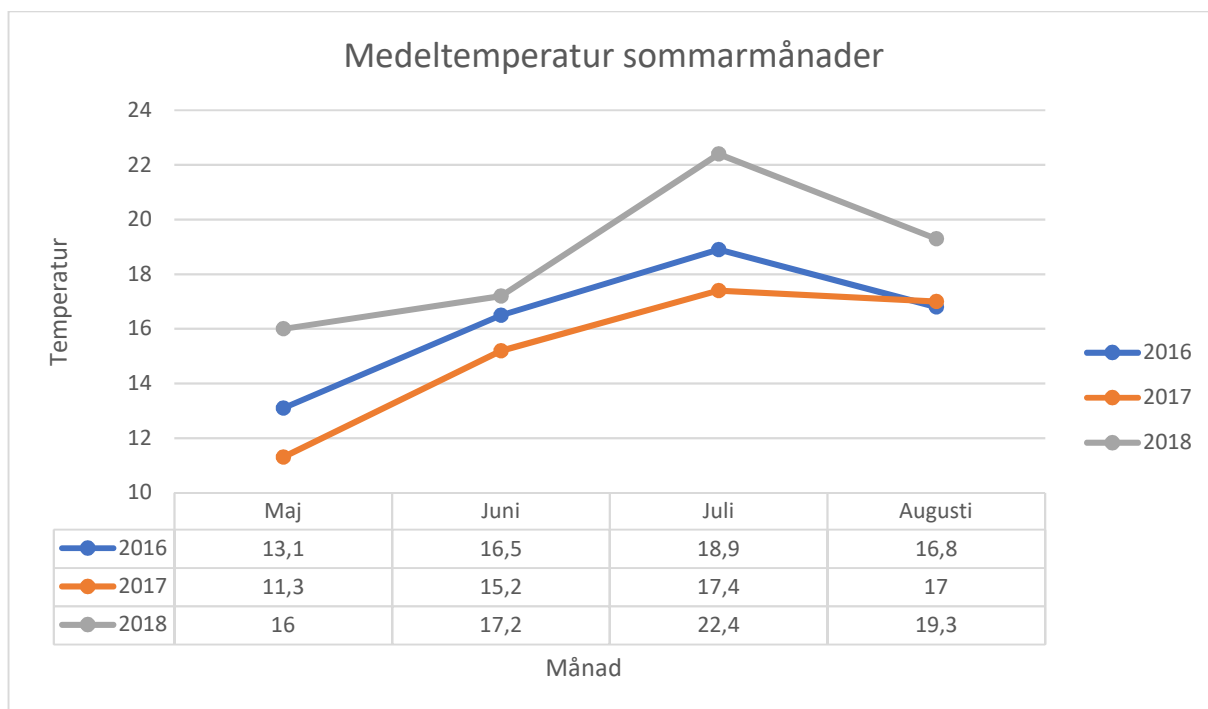
Figur 6: Statistik från Trafikverkets rapporter, presenterar antal solkurvor under åren. Källa: Egen 2019

Diagrammet ovan visar antalet solkurvor 2016–2018, det är en stor variation mellan åren och antalet solkurvor. Störst antal solkurvor var år 2018 med 200 stycken konstaterade och året innan minst med endast 19 stycken konstaterade (Trafikverket 2017, 2018b). En jämförelse av antalet gjordes gentemot vädret under året - om temperaturen påverkade solkurvorna.

Sommaren 2016 startade med varmt väder i början av maj som sedan svalnade i mitten av juni. I mitten av juli kom de högsta temperaturerna för sommaren och det höll i sig till den avslutande sommarmånaden augusti. September innehöll höga temperaturer, vilket gjorde att hösten fick en varm inledning (SMHI 2016). Året hade 63 konstaterade solkurvor och bara 8 stycken som inte går att bedöma (Trafikverket 2016b).

2017 saknade sommarvärme i längre perioder. Den högsta temperaturen på sommaren var 30,1 °C i slutet av maj. I helhet var juni kallare än normalt. I juli och augusti var det ostadigt väder men trots allt blev augusti varmare än normalt (SMHI 2017). Sommaren 2017 hade enbart 19 stycken konstaterade solkurvor, vilket är en markant minskning från året innan (Trafikverket 2017).

Sommaren 2018 var ett rekordvarmt år som gjorde att hela Sverige var varmare än normalt. Värmeböljor (temperatur över 25,0°C i minst fem dagar i följd) kom in över Sverige redan i maj. I helhet var juni, juli och augusti rekordvarma. Värmeböljor, temperaturrekord och tropiska nätter inträffade ett flertal gånger sommaren 2018 (SMHI 2018b). Det upptäcktes 266 stycken solkurvor med 200 konstaterade och 66 stycken icke bedömningsbara (Trafikverket 2018d). Det är en markant ökning från tidigare år, vilket är en mer än 10 gånger ökning från året innan.



Figur 7. Medeltemperaturen under sommarmånaderna år 2016–2018, även en tabell för mer exakta siffror. Källa: Stockholms stad 2019

## 6 Diskussion

I denna del diskuteras den fakta som tagits fram under arbetets gång, en diskussion om tillvägagångsätt och metod tas även upp. Diskussionen har som ändamål att lyfta de reflektioner och slutsatser som författarna gjort. Eftersom del 1 innehåller en litteraturstudie för att skapa förståelse för solkurvor läggs diskussionens fokus på den statistik som granskats i del 2.

### 6.1 Rapportering av solkurvor

Det finns många faktorer som kan orsaka en solkurva förutom ökad temperatur, med många olika utfall. Konsekvenserna är mer eller mindre allvarliga och nivån av allvarlighet är svår att förutse. Det bör vara mer uppnåeligt att förutse en solkurvas uppkomst än dess konsekvenser. Om en solkurva uppstår och en urspårning sker är konsekvenserna av detta svåra att förutse, men om spåret är bristande och temperaturen höjs skulle en solkurva kunna förväntas. Med de många möjliga faktorerna är det första misstaget att anta att solkurvor endast uppstår på grund av hög temperatur. Enligt Trafikverket uppstår inte solkurvor på så kallat normenligt spår vilket betyder att det finns minst en annan orsak till solkurva förutom värmen, denna "andra orsak" är där fokusen bör ligga för att kunna förutse solkurvor i framtiden. Rapporteringen av solkurvor har uppenbara brister, ett konstaterande som stöts på ett antal gånger under litteraturläsningen i början av arbetet. Många i branschen skriver att rapportering av solkurvor sker ofullständigt och författarna insåg i tidigt skede av arbetet att det var ett viktigt område att fokusera på. Bristande rapporter visade sig sedan tydligt i Ofelia. Efter att ha gått igenom alla solkurvor i Ofelia kan det konstateras att ett flertal inte rapporteras så bra som det kunde gjorts.

### 6.2 Statistik från Trafikverket

Spridning på antal solkurvor är stor från år till år och i kapitel 5.3 *Jämförelse mellan temperatur och antal solkurvor* redogörs hur många solkurvor som har skett de senaste 3 åren och de jämförs med vädret som varit. Det finns ett mönster mellan temperaturerna och antalet solkurvor som uppstår, är det en mycket varm sommar blir också antalet solkurvor många fler än om det är en kallare sommar. År 2018 var en rekordvarm sommar, ett extremfall. Sommaren år 2017 var kall utan hög temperatur i längre perioder vilket bidrog

till färre solkurvor än tidigare år (se kapitel 5.3). 2017 och 2018 är två år där temperaturen har skilt mycket, ska en sammanställning göras av de 5 senaste åren blir resultaten väldigt spridda. Eftersom det uppkommer fler solkurvor de åren då det är en varmare sommar är det ett samband, fast en solkurva inte bara uppkommer av solen. Spåret blir mer känsligt vid värme och förlorar delar av dess motståndskraft.

### **6.3 Förebygga faktorer som skapar solkurvor**

Temperaturen är en faktor som människan inte kan påverka, men spåret kan förberedas för högre temperaturer. Förebyggande åtgärder för temperaturen är till fördel om det förutspås vara en ovanligt varm sommar, det kan exempelvis vara att neutralisera spåret med en högre spänningsfri temperatur. Om spåret neutraliseras och solkurvor förebyggs kommer konsekvenserna automatiskt att minska då en av faktorerna reduceras.

En utredning för bidragande faktorer bör göras vid konstaterade solkurvor för att få korrekt statistik och kunna förebygga framtida solkurvor. Om spåret har återkommande problem med solkurvor framgår det då i utredningar och statistik. Bristande underhåll på ett spårstråk är en faktor som kan uppmärksammas och återställas. Utmattat material och bristande underhåll är två faktorer som går att påverka såvida det observeras och dokumenteras.

### **6.4 Spårtyper och ballast**

#### **6.4.1 Sliprar**

I kapitel 5.1 *Statistik från Trafikverkets solkurverapporter* framförs hur många solkurvor som uppstått i ett visst spår med ett visst material. Det är tydligt att flest solkurvor sker på spår med träsliprar i jämförelse med betongsliprar. Träsliprar har lägre hållfasthet än betongsliprar därför är en sliper gjord av trä mindre motståndskraftig och en solkurva kan lättare uppkomma där spåret belastas. Det är stor andel, minst 76%, av solkurvorna som beror på att banan är utrustad med träsliprar under de tre åren som studerats. Värt att notera är att antalet kilometer spår med träsliprar är betydligt färre än antalet med betong. Detta betyder att ovanstående 76% är missvisande då träsliprar är en relativt liten andel av järnvägsnätet. Genom en upprustning av spåren och istället lägga dit betongsliprar kan antalet solkurvor minska, dock är det en mycket krävande och dyr åtgärd. Kritiska spårstärk med träsliprar kan stabiliseras med

ballast eller vid utslagsgivande tider (när spåret är som varmast) bruka spåret varsamt för att inte riskera för stor påfrestning.

#### 6.4.2 Befästningar

Vidare i tabell 5–7 framgår det att heyback-och spikbefästningar är de befästningar som har störst bidragande faktor till solkurva. Spik-och haybackbefästningar monteras på träsliprar, vilket gör att kombinationen av dessa befästningar och träsliprar blir det sämsta konstellationen för hållfasthet mot solkurvor. Pandrolbefästningar används på betongsliprar och är den vanligaste befästningen, den har tredje störst sannolikhet till upphov av solkurva. Befästningen har inte lika stor hållfasthet som exempelvis en Hambobefästningen och därför har den mer tendenser till solkurva. Anledningen till att pandrolbefästningen är vanligast trots detta är på grund av sin enkla konstruktion, montering och sin lätthet att byta ut.

#### 6.4.3 Ballast och arbete i spår

Antal solkurvor som uppstår på grund av ballastbrist, som är den främsta delorsaken, varierar från år till år. Det är som ovan nämnt att ett bristande underhåll skulle upptäckas lättare om dokumentationen var bättre. Den svenska järnvägens underhåll bör ses över innan temperaturökningen under sommaren, det kan då motverka det bristande underhållet som kan leda till solkurvor.

Delorsaken “Arbete i spår” har markant högre andel år 2017 än de två andra åren som jämförs i kapitel 5.1.3 *Ballast, arbete och övriga delorsaker*. En ökning på 15% från år 2016 som sedan går ned med 13% igen till år 2018. 2017 var “Arbete” den största delorsaken till solkurvor, vilket är ett extremt år för just denna faktor. Antalet konstaterade solkurvor med denna orsak 2017 var 11 stycken trots den höga andelen är det en låg summa. Observerat är att 2018 var ett år med många solkurvor och då har även delorsaken fått ett ökat antal. Det finns inga tecken på att 2017 var ett år då det ska ha skett fler arbeten än normalt. Spåret ska ha varit normenligt till samma grad som tidigare år och arbetet ska ha utförts på sådant sätt att inga följande konsekvenser uppkommit. Ett orsaksmönster för “arbete” är inget som kan uteslutas eftersom det är stor variation på statistiken och inget avvikande om arbetssituationen hittas.



## 6.5 Metoddiskussion

Ambitionen med arbetet, som tidigare nämnt, är att påbörja en handbok om solkurvor som ska ge information till personer med tidigare kunskap samt vara informativ till personer utan tidigare kännedom. Litteraturstudien gav en grund till att informera om de bakomliggande fysikaliska fenomen och teori. Faktorer och konsekvenser av solkurvor delas upp och förklaras för att ge läsaren en klar bild av solkurvor. Eftersom litteraturstudien ska ge en bred kunskap till personer med olika kännedom kan det bli väldigt informativt för de med mindre bakomliggande kunskap. För de insatta i branschen med mer kunskap kan litteraturstudien vara mycket repetition av information som de vet.

Litteraturstudien var första delen av arbetet efter gjordes en statistikstudie som ger en överblick över faktor och antal solkurvor. Detta är mer intresse för att se utveckling av antal och vad de har berott på, vilket mer är ett intresse av personer som är i järnvägsbranschen. En mer omfattad undersökning av Ofelia-utdrag skulle stärkt och påvisat att rapporteringssystemet behöver förändras och även gett mer statistik över faktorer och eventuellt åtgärder.

## 7 Slutsats

Här presenteras konkreta svar på frågeställningarna som arbetet syftar på, rekommendationer baseras utifrån vad författarna har kommit fram till i sin diskussion fram samt förslag på vidare studier.

### 7.1 Svar på frågeställning

#### 7.1.1 Vilka faktorer gör att en solkurva uppstår?

När ett spår utsätts för värme utvidgas det i storlek, detta tvingar spåret att kröka sig i sidled och en solkurva uppstår. Värmen är den första faktorn som tas i åtanke när en krökning sker men detta är inte en ensam orsak till felet. För att ett spår ska kröka sig måste det överträffa de krafter som håller det på plats. Massiva betong- eller träsliprar ligger inbäddade i grov packad ballast och på detta kläms spåret fast för att kunna motstå de krafter som uppkommer av de tunga fordon som nyttjar spåret. Ett normenligt spår motstår de krafter som uppstår av tung trafik, även vid höga temperaturer, eftersom spåret är neutraliserad efter en spänningsfri temperatur. När en solkurva uppstår finns det en eller flera bristande komponenter av de som håller spåret på plats, alternativt att spåret utsätts för fler större krafter än det är konstruerat för. De vanligaste orsakerna under de senaste åren har varit ballastbrist, annan materialbrist eller arbete i spår.

#### 7.1.2 När en solkurva uppstår, vilka kan konsekvenserna bli?

Konsekvenserna går att bedöma på olika sätt, ekonomisk- eller säkerhetsmässigt. Arbetet granskar inte kostnader och summor men försöker skapa en bild av värdet i det förebyggande arbetet mot solkurvor. Inställda och försenade tåg kostar mycket pengar för Trafikverket och tågbolagen. Ett underhåll går att planera i förväg medan en reparation är plötslig. Fel som uppstår på spåret och i trafiken kostar inte bara pengar utan också tillit hos resenärer. För att skapa en attraktiv kollektivtrafik krävs mer underhåll av svensk järnväg för att minska problemen. För att kunna motivera utökat underhåll krävs statistik. Statistiken över solkurvor är långt ifrån fullständigt vilket leder till att det ekonomiska värdet gällande att motverka solkurvor är svår att visa.

### 7.1.3 Finns det ett mönster eller ett samband vid en solkurvas uppkomst?

Något samband mellan olika solkurvor är svårpreciserat då uppkomsten av en solkurva sker av olika faktorer och olika spår har olika förutsättningar. Dock finns det generella samband, som att ökad temperatur påverkar belastningen i ett spår om det överstiger temperaturen spåret är menat för. Ett järnvägsspår kräver normenlighet eftersom hållfastheten annars minskar och risken för solkurva ökar, detta är ett välkänt samband.

Ett tydligt mönster som har uppmärksammats under arbetets gång är att det bristande rapporteringssystemet medför bristfällig statistik, felaktiga åtgärder och saknad information. Rapportering av solkurvor behöver förbättras från att solkurvan upptäcks tills den är åtgärdad.

## 7.2 Rekommendationer

Författarna rekommenderar en korrigerande av rapporteringssystemet för solkurvor. När en solkurva upptäcks måste ett konstaterande göras - ifall det faktiskt är en solkurva, efter det behövs en analys om vad uppkomsten var och hur den ska åtgärdas. En noggrann uppkomst-utredning bör göras för att faktorerna inte ska antas eller gissas fram, risken finns då att felen uppkommer igen. Om faktorerna är kända och fastställda kan de rapporteras in mer utvecklade till Ofelia, där egna kommentarer bör begränsas. Efter att faktorerna är fastställda och rapporterade kan åtgärder för solkurvan vidtas. När rapporteringssystemet sker mer noggrant kommer statistik och information avhjälpa förebyggandet av solkurvor.

Utbildningar finns och bör utföras av yrkesverksamma personer som ska åtgärda, utvärdera eller rapportera solkurvor, för att de ska få mer förståelse och lära sig hur de ska jobba med solkurveproblematiken. Trafikverksskolan i Ängelholm har till exempel en sådan kurs. Detta kommer i sin tur underlätta för framtida underhåll och statistikförande samt förbättra åtgärderna.

Författarna anser att året som solkurvan inträffade inte är relevant om inte ett visst år påvisar extrema temperaturer. Dagens statistik delas upp i årtal som sedan jämförs mot varandra, detta säger egentligen inte mycket om själva orsaken till uppkomsten. Ett rapporteringssätt som hade varit mer relevant skulle vara att dela upp solkurvorna i temperaturintervall. Vilken temperatur

det var när kurvan uppkom är mer intressant, det skulle kunna ge en bättre inblick i hur stor påverkan temperaturen faktiskt har. Det finns en chans att detta sätt framhäver de underliggande faktorerna på ett bättre sätt.

### **7.3 Vidare studier**

För att förebygga solkurvor bör åtgärderna studeras närmare. Vilka åtgärder ger mer upphov till återkommande solkurvor? De ekonomiska aspekterna har en stor roll i besluten om felen bör förebyggas eller repareras om de inträffar, i en sådan utvärdering bör alla kostnader tas med, inte bara materiella utan över förseningar och så vidare.

En idé om att intervjua yrkesarbetare i spår fanns i början av arbetet, detta för att få fram deras synpunkter på rapporteringssystemet och arbetet. På grund av den begränsade tiden för examensarbetet gjordes inga intervjuer men det skulle kunna vara en uppföljning till denna rapport.

Jämförelse med andra länder och hur de löser solkurveproblematiken är även en intressant vidare studie. Då olika länder har olika sätt att hantera problemen och förebygga dem. Klimatet och temperaturerna är skilt beroende på var landet ligger och jämförelser med länder med olik klimat kan ge lösningar för Sverige.

## 8 Källor

### 8.1 Elektroniska referenser

Andersson Evert, Berg Mats, Stchel Sebastian. (2016). *Nya stambanor till lägre kostnader*. Hämtat från:

[https://www.kth.se/polopoly\\_fs/1.652592.1550157740!/Nya%20stambanor%20till%20la%CC%88gre%20kostnader.pdf](https://www.kth.se/polopoly_fs/1.652592.1550157740!/Nya%20stambanor%20till%20la%CC%88gre%20kostnader.pdf) den 8 mars 2019

Infranord. (2012). *Neutralisering*. Hämtat från:

[http://www.infranord.se/media/2999/neutralisering\\_infranord\\_120411.pdf](http://www.infranord.se/media/2999/neutralisering_infranord_120411.pdf) den 26 februari 2019.

Jernkontoret. (2016). *Järn- och stålframställning, Bearbetning av platta produkter*. Hämtat från:

[https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handbocker/utbildningspaket/jarn-och-stalframstallning\\_del9.pdf](https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handbocker/utbildningspaket/jarn-och-stalframstallning_del9.pdf) den 14 februari 2019.

Järnväg.net. (u.å.). *Banguiden, Spår*. Hämtat från:

<http://www.jarnvag.net/banguide/spar> den 27 mars 2019.

Konsumentverket, Hallå Konsument! (2018). *Så mycket kan du få i ersättning om tåget är försenat eller inställt*. Hämtat från:

<https://www.hallakonsument.se/tips-for-olika-kop/kopa-tjanster/resor/reseguide/sa-mycket-kan-du-fa-i-ersattning-nar-taget-ar-forsenat-eller-installt/?isFromPreviousStep=true&previousSteps=2972> den 28 februari 2019.

Stockholms stad. (2019). *Medeltemperaturer*. Miljöbarometern Stockholm.

Hämtat från: <http://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimat-och-vaderstatistik/manadsmedeltemperatur/> den 11 juni 2019.

Nationalencyklopedin. (u.å.). *Centripetalkraft*. Hämtat från:

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/centripetalkraft> den 8 mars 2019

SMHI. (2016). *Året 2016 - Varmt år men inget rekord*. Hämtat från:

<https://www.smhi.se/klimat/2.1199/aret-2016-varmt-ar-men-inget-rekord-1.113428> den 26 april 2019.

SMHI. (2017). *Året 2017 - Varmt men mest odramatiskt väderår*. Hämtat från:

<https://www.smhi.se/klimat/2.1199/aret-2017-meteorologi-1.128329> den 26 april 2019.

- SMHI. (2018a). *Maj 2018 - Sommarväder med rekordvärme*. Hämtat från: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/maj-2018-sommarvader-med-rekordvarme-1.134781> den 28 februari 2019.
- SMHI. (2018b). *Året 2018 - Varmt, soligt och torrt år*. Hämtat från: <https://www.smhi.se/klimat/2.1199/aret-2018-varmt-soligt-och-torrt-ar-1.142756> den 26 april 2019.
- StackExchange. (2015). *PHYSICS - Why are turns banked?* Hämtat från: <https://physics.stackexchange.com/questions/92676/why-are-turns-banked> den 21 Maj 2019.
- SVT. (2018a). *Ökad risk för solkurvor i värmen*. Hämtat från: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/jonkoping/okad-risk-for-solkurvor-i-varmen> den 11 juni 2019.
- SVT. (2018b). *Efter tågolyckan i Hökmora – utredning föreslår bättre skydd*. Hämtat från: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vastmanland/efter-tagolyckan-i-hokmora-utredning-foreslar-battre-skydd> den 5 mars 2019.
- Sydsten. (u.å.). *Järnvägar*. Hämtat från: <https://www.sydsten.se/kunskapsbanken/jarnvagar/> den 19 mars 2019.
- Trafikverket. (2015a). *Solkurvor: En allvarlig störning*. Hämtat från: [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10388/Ineko.Product.RelatedFiles/100044\\_solkurvor\\_utg4\\_2015.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10388/Ineko.Product.RelatedFiles/100044_solkurvor_utg4_2015.pdf) den 19 februari 2019.
- Trafikverket. (2016a). *Frågor och svar om solkurvor*. Hämtat från: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/Banarbeten/solkurvor/fragor-och-svar-om-solkurvor1/> den 22 februari 2019.
- Trafikverket. (2019). *Årsstatistik för punktlighet 2018*. Hämtat från: <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/Rapporter/Manatlig-trafikrapport/Transport-pa-jarnvag-i-ratt-tid/Statistik-for-punktlighet/arsstatistik/arsstatistik-for-punktlighet-2018/> den 28 februari 2019.

Åstedt Björn. Stålbyggnadsinstitutet. (2009). *Stålets uppbyggnad*. Hämtat från:  
[http://sbi.se/uploads/source/files/Artiklar/Stalets\\_egenskaper.pdf](http://sbi.se/uploads/source/files/Artiklar/Stalets_egenskaper.pdf) den 19 februari 2019.

## 8.2 Interna referenser

Trafikverksskolan. (2017). *VTVA35 Banteknik för ingenjörer*. [internt material]. Ängelholm.

Trafikverksskolan. (2018a). *VVBF15 Samverkan fordon/banaspårfordonsteknik*. [internt material]. Ängelholm.

Trafikverksskolan. (2018b). *VTVF35 Traffic Control and Telecommunication in Railway Traffic*. [Internet material] Ängelholm.

## 8.3 Skriftliga referenser

Banverket. (2008). *Rapport från projekt, Analys av solkurveproblematiken*. Banverket

Banverket. (2009). *Banverkets årsredovisning 2008*. Borlänge: Banverket

Petterson Sara. (2009). *En studie om evakuering från tåg, Identifiering av problem- och förbättringsområden*. Linköping: Linköpings Universitet

Trafikverket. (2009). *ATC-signalering – Grundläggande*. (BVS 544.98015). Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2012). *Besiktningssystemet för järnväg – Bessy*. (TDOK 2011:244). Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2013). *Banöverbyggnad - Skarvspår. Krav och regler för byggande och underhåll*. (TDOK 2014:0756) Borlänge: Trafikverket  
*signaleringskrav* (BVS 544.98015) Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2014). *Banöverbyggnad - Skaryfritt spår, Krav vid byggande och underhåll*. (TDOK 2013:0664). Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2015b). *Spårkomponenter Sliper och befästning*. (TDOK 2015:0052). Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2016b). *Solkurvor 2016 - Statistik, analys och förslag på åtgärder*. Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2017). *Solkurvor 2017 - Statistik, analys och förslag på åtgärder*. Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2018c). *Årstidsstyrd beredskapsplan - Nationell, Sommar 2018, Järnväg*. Borlänge: Trafikverket

Trafikverket. (2018d). *Solkurvor 2018 - Statistik, analys och förslag på åtgärder*. Borlänge: Trafikverket