



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Hur värme påverkar tekniska system

Möjliga konsekvenser av en värmebölja på
elförsörjning och järnvägstransporter



Redaktörer Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI):

Karin Mossberg Sonnek

Johan Lindgren

Annika Carlsson-Kanyama

MSB:s kontaktpersoner:

Cecilia Alfredsson

Ulrika Postgård

Foto framsida: Johan Eklund / Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB.

Publikationsnummer MSB639 - Januari 2014

ISBN 978-91-7383-409-4

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	3
Sammanfattning	5
1. Inledning	8
Bakgrund.....	8
Syfte med studien.....	8
Metod.....	9
Avgränsningar	10
2. Tidigare värmeböljor	11
Värmeböljan i södra Europa 2003	11
Omfattning och utbredning.....	11
Konsekvenser på tekniska system.....	12
Värmeböljan i Australien 2009.....	13
Omfattning och utbredning.....	13
Konsekvenser på tekniska system.....	14
3. Konsekvenser av tidigare värmeböljor på elförsörjningen	16
Elbehov	16
Kylta komponenter.....	17
Kylvatten till kärnkraftverk.....	17
Distribution av el	18
4. Möjliga konsekvenser för den svenska elförsörjningen.....	20
Sveriges elbalans och påverkan av en värmebölja.....	20
Sveriges eltillförsel och efterfrågan.....	20
Möjliga effekter av en värmebölja.....	22
Kylningen av svenska kärnkraftverk	23
Vattentemperaturer vid intag av kylvatten.....	23
Vattentemperaturer vid utsläpp av kylvatten.....	25
Eldistribution i Sverige.....	25
Elnätets uppbyggnad	26
Tidigare erfarenheter	26
Ledningar	27
Transformatorer.....	28
Isolatorer och brytare	29
Underhåll.....	29
5. Konsekvenser av tidigare värmeböljor på järnvägstransporter30	
6. Möjliga konsekvenser på den svenska järnvägstrafiken	33
Tekniska komponenter i järnvägssystemet.....	34
Räler och växlar.....	34
Kontaktledningar och omformarstationer	35
Signalsystemet	36

Reservkraft	36
IT och data/telekommunikation	36
Direkta konsekvenser	37
Tekniska komponenter i fordon.....	38
7. Diskussion	40
8. Slutsatser	41
Referenser	43
Bilaga 1: Intervjuguide.....	46
Bilaga 2: Konsekvenser av värme inom olika sektorer.....	48

Sammanfattning

Nästan årligen inträffar en kraftig värmebölja någonstans i världen med stora konsekvenser för samhället. Det som främst lyfts i media och i vetenskaplig litteratur är att värmen skapar stora dödstal. Under värmebøljan 2003 i södra Europa dog till exempel 30 000 fler människor än normalt under en sommar. Även naturen påverkas av en värmebölja, och därmed jordbruk, dricksvattenförsörjning och andra näringar som är sårbara mot höga temperaturer och långvarig torka.

Påverkan på samhällsviktiga verksamheter utanför vårdsektorn kan bli stor. I de två värmebøljer som har studerats inom ramen för den här studien, som inträffade i södra Europa 2003 och sydöstra Australien 2009, var det framför allt elförsörjningen och transportsektorn som påverkades negativt. En halv miljon människor blev exempelvis utan el i Melbourne 2009 till följd av värmerelaterade problem. I Frankrike 2003 reducerades järnvägstrafiken så pass mycket av tekniska problem att det gav ekonomiska förluster på miljontals euro.

Effekterna av värmen på tekniska komponenter i södra Europa 2003 och i sydöstra Australien 2009 har legat till grund för en intervjustudie om vilka konsekvenser en värmebölja i Sverige skulle kunna få. När det gäller elförsörjningen identifierades tre stora problem i de värmebøljer som studerades. För det första gav värmebøljorna upphov till ett ökat behov av el för luftkonditionering och kylning som inte kunde matchas med en motsvarande produktionsökning. För det andra fick kärnkraftverk och andra typer av kraftverk inte tillgång till tillräckligt kallt kylvatten och var därför tvungna att dra ner på elproduktionen. Slutligen försvårades distributionen av el till följd av värmerelaterade tekniska problem på bland annat ledningar, transformatorer och omformare.

I delstaten Victoria i sydöstra Australien, som fick stora problem med elförsörjningen under 2009, är efterfrågan på el störst under sommaren. Den ökade efterfrågan på el till följd av värmebøljan inträffade alltså när efterfrågan redan var som högst, och elförsörjningssystemet utsattes då för en större påfrestning än någonsin tidigare. I Sverige däremot är elbehovet betydligt lägre under sommaren än på vintern, och det finns en stor kapacitet i elproduktionen som normalt inte utnyttjas sommartid. Vid behov skulle det vara möjligt att öka elproduktionen genom en ökad vattenkraft, eftersom dammarna är välfyllda under sommaren. Det kan också finnas marginaler i kärnkraftverk och övrig värmekraft. Dessa åtgärder skulle mer än väl kompensera för ett ökat effektbehov som skulle kunna uppstå i Sverige.

Ytterligare ett problem i såväl Australien 2009 som i Frankrike 2003 var att elproduktionen gick ner till följd av värmerelaterade problem. Vilka problemen var i Australien finns inte tillräckligt väl beskrivna, men i Frankrike berodde den minskade elproduktionen främst på avsaknaden av kallt kylvatten till kärnkraftverken. Den totala minskningen i elproduktion från kärnkraftverken i

Frankrike var 4 %, en minskning som även den förväntas kunna uppvägas av en ökad vattenkraft om reduktionen skulle ske i Sverige.

Kärnkraftverken i Frankrike kyls till största del av flodvatten. De tre kärnkraftverk som finns i Sverige, Ringhals, Forsmark och Oskarshamn, kyls alla av havsvatten, vilket inte värms lika mycket som flodvatten under en värmebölja. De intervjuer som gjordes inom projektet visar dock att även svenska kärnkraftverk skulle kunna få problem med för varmt kylvatten under varma somrar. Kärnkraftverken är dimensionerade för 15-18 °C och en del av reaktorerna måste av säkerhetsskäl reducera sin kapacitet om vattentemperaturen stiger över en nivå som ligger mellan 18 och 25 °C, olika för olika reaktorer. Vid en ytterligare nivå, som ligger mellan 25 och 27 °C, måste reaktorerna stängas av enligt gällande säkerhetsbestämmelser. Det har ännu inte inträffat, men det har hänt att temperaturen på kylvattnet bara varit 0,5 °C ifrån gränsen. En åtgärd som diskuteras för att minska sårbarheten är att byta ut befintliga yt-vattenintag mot djupvattenintag, men det är inte en lösning som garanterar tillräckligt låga temperaturer.

Det tredje området som identifierades som sårbart var eldistributionen. Framför allt australiensiska myndigheter har beskrivit tekniska komponenter som fallerade under värmeböljan 2009 eller som anses vara sårbara. Inom studien genomfördes intervjuer med personer från ett flertal organisationer som ansvarar för det svenska stamnätet samt för regionala och lokala nät. Enligt de intervjuade har det inte hänt särskilt många incidenter med värme på distributionsnätet i Sverige. Värme anses heller inte vara ett särskilt stort hot mot elförsörjningen. Men de intervjuade är ense om att luftkablar som förlängs av värmen och bågnar kan bli ett problem om den omgivande temperaturen blir hög. Även jordkabelledningar kan bli så varma att det skapar problem. Isoleringen kan mjukna och kabeln sjunka ner i materialet vilket kan leda till överslag, varpå brottet måste lokaliseras och repareras. Ytterligare komponenter som ansågs vara känsliga under en kraftig värmebölja var transformatorer, isolatorer och brytare.

Utöver elförsörjningen studerades även järnvägstransporter, vilket är det transportslag som drabbades hårdast under värmeböljorna i Europa och Australien. Solkurvor var den enskilda konsekvens som ledde till störst problem. Storbritannien var tvungen att införa hastighetsbegränsningar för trafiken på flera platser vilket ledde till stora förseningar. Vid Birmingham New Street Station, som drabbades värst, var man tvungen att ställa in hälften av tågtrafiken under de varmaste dagarna. I Australien rapporterade medierna att en tredjedel av tågtrafiken var tvungen att ställas in. Förutom solkurvor var det svårigheten att kyla passagerarvagnar och bristen på el som ledde till den situationen. Litteraturen nämner också att signalsystemet borde vara sårbart, men få incidenter om det är rapporterade.

Resultaten av intervjuerna visar att även järnvägstransporter i Sverige är känsliga för värme. Flera komponenter påverkas negativt av värme. Råler, komponenter i växlar och kontaktledningar kan expandera i värmen och orsaka stora störningar i trafiken. Teknisk utrustning för signalsystem, telekommunikationer, styrningen av elanläggningar samt kylningen av reservkraftslösningar har också visat sig vara känsliga. När det gäller teknisk styrutrustning

är det framför allt utrustning som innehåller elektronik som är känslig. Reservkraftsystemen med batterier behöver en kontinuerlig kylning, och det har förekommit störningar till följd av problem med kylningen.

Problemen är generellt sett störst på bangårdar och längs med järnvägsspåren där olika tekniska system ofta är samlokaliserade och placerade i mindre teknikhus. Mer centraliserade delarna av järnvägstransportsystemet, som exempelvis funktioner för trafikledning, är generellt sett mindre påverkade av störningar. De teknikhusen som finns längs banan och på bangårdarna kan exponeras för stark värme och kylanläggningar saknas till stora delar. Ett undantag är inom IT och tele/datakommunikation där kylningen är en viktig del i den normala driften. Även större omformarstationer (som omvandlar elen i det nationella nätet till den frekvens som används inom järnvägen) står i flera fall i byggnader som kan vara exponerade för solinstrålning och värme. Dessa är kyllda, men värmen innebär ofta att det möjliga effektuttaget minskar. En lång period med hög värme skulle kunna påverka dessa anläggningar negativt.

Elförsörjningen är central för att kunna köra tåg. Kopplingen mellan stamnätet, regionnäten samt lokalnäten och järnvägens egen elförsörjning ser olika ut i olika delar av landet. I vissa fall är funktionen av järnvägen beroende av el från lokala nät.

1. Inledning

Bakgrund

I och med att klimatet förändras kommer värmeböljor bli allt vanligare, både globalt och i Sverige. Värmeböljorna kommer dessutom att bli kraftigare och längre vilket ställer högre krav på samhället, både ifråga om förebyggande anpassningsåtgärder och ifråga om krisberedskap.

Det har genomförts ett flertal studier om effekterna av värme på samhällsviktiga verksamheter i Sverige. Carlsson-Kanyama (2012) redovisar i en kunskaps- och forskningsöversikt vilka följder en värmebölja i Sverige skulle kunna få. Studien visar på hur lite kunskap som finns om konsekvenserna av värmeböljor i Sverige för samhällsviktiga sektorer utanför hälsosektorn. Thom (2013) har i en magisteruppsats tittat närmare på den svenska beredskapen för en värmebölja inom energi- och transportsektorn och konstaterat att det saknas en beredskapsplan för värmeböljor och att det finns stora kunskapsluckor som behöver fyllas om man ska upprätta en sådan.

Mossberg Sonnek m fl (2013) gjorde en fördjupad studie inom tre samhällsviktiga sektorer; transporter, skydd och säkerhet samt dricksvattenförsörjning. Studien hade ett geografiskt fokus på Örebro län och visade att man där kan förvänta sig allvarliga påfrestningar av en värmebölja på såväl järnvägstrafiken som räddningstjänsten. Dricksvattenförsörjningen lokalt i Örebro kommun bedömdes dock klara sig väl.

Flera områden uppfattades som outforskade i studien, bland annat vilken påverkan en värmebölja kan ha på serverhallar samt el- och kommunikations-system. Om IT-driften, elförsörjningen eller kommunikationsmedel slås ut i samband med en kraftig värmebölja så kan de sammantagna effekterna av värmen och elavbrottet sätta samhället under stor press. Frågetecknen kring vad som kan hända med tekniska system och komponenter under en värmebölja i Sverige är en av anledningarna till att den här studien initierades.

Syfte med studien

Syftet med studien har varit att bättre förstå

- på vilket sätt tekniska system i Sverige är sårbara för extrem värme inom sektorer eller verksamhetsområden som internationellt sett har visat sig vara sårbara,
- vilka direkta konsekvenser som kan uppstå om ett tekniskt system får nedsatt funktion på grund av värmen,
- vilka åtgärder som skulle vara möjliga att införa för att minska sårbarheten för värme hos systemen.

Studien har utförts av FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut, på uppdrag av MSB.

Metod

Studien genomfördes i flera steg. Först gjordes en översiktlig skanning på Internet av vilka värmeböljor som har inträffat i industrialiserade länder de senaste 20 åren och som har gett stora konsekvenser på samhället. Utifrån den översikten valdes två värmeböljor ut för mer detaljerade studier; värmeböljan i södra Europa 2003 (bland annat över Frankrike) och värmeböljan i Australien 2009.

Motivet till att studera värmeböljan i södra Europa var främst den geografiska närheten och att effekterna av en värmebölja på det svenska samhället förmodligen har stora likheter med de som inträffade i Frankrike 2003. Motivet till att studera värmeböljan i Australien 2009 var att flytta fokus till en annan del av världen med andra förutsättningar att hantera en värmebölja, men med samma typer av tekniska system som i Sverige. Dessutom har de australiensiska myndigheterna till del dokumenterat de tekniska problemen till följd av värmeböljan, vilket var en bra utgångspunkt i arbetet.

För vardera värmeböljan gjordes en litteraturstudie för att identifiera inom vilka sektorer eller verksamhetsområden värmen har orsakat problem för tekniska system eller komponenter. Litteraturstudien genomfördes via databaser för vetenskapliga tidsskrifter, såsom Web of Science, samt genom att söka rapporter på relevanta myndigheters hemsidor och nationella klimat-anpassningsportaler. Därutöver ingick en del tidningsartiklar i studien, men ingen systematisk sökning gjordes i vad media har rapporterat.

Utifrån sammanställningen av konsekvenser inom olika verksamheter gjordes en avstämning med MSB för att välja ut två sektorer att studera närmare. Valet föll på elförsörjning och järnvägstransporter. Järnvägstransporter valdes eftersom tekniska system fick stora problem i både Europa och Australien till följd av värmen. Valet av elförsörjningen motiverades av att det uppstod stora problem även där, men också för att konsekvenserna av en värmebölja blir så pass mycket större om elförsörjningen slås ut.

Ytterligare ett verksamhetsområde som diskuterades var IT och telekommunikation, inom vilken det sker en snabb teknikutveckling som gör det svårt att bedöma hur pass sårbar den tekniska utrustningen är. Konsekvenserna på samhället skulle bli stora om IT-system eller telekommunikationer inte fungerar. Inom IT-området återfinns utrustning som är sårbar för värme och därmed också har ett stort behov av kylning. Få incidenter har dock rapporterats, varför detta område valdes bort i denna studie. Påverkan och värme på komponenter för IT och telekommunikation behandlas dock sett utifrån påverkan på järnvägstransportsystemet.

Efter att ha valt elförsörjning och järnvägstransporter som två intressanta områden att studera mer i detalj gjordes en fördjupad studie inom den litteratur som redan hade samlats in över värmeböljorna i Europa och Australien. I den mån det var möjligt identifierades tekniska system och tekniska komponenter som gått sönder eller blivit funktionsnedsatta till följd av värmen.

Med utgångspunkt från vad som hänt i Europa och Australien gjordes slutligen ytterligare litteraturstudier av svenska rapporter och intervjuer med ett antal personer som representerade de olika sektorerna i Sverige. Intervjuerna berörde i huvudsak frågeställningar kring erfarenheter av inträffade händelser, på vilket sätt teknisk utrustning är eller skulle kunna vara känslig för värme och vilka åtgärder som har vidtagits. Som underlag för intervjuerna användes också erfarenheterna från de studerade värmeböljorna i Europa och Australien. Den intervjuguide som användes vid intervjuerna återfinns i bilaga 1.

Avgränsningar

Under de intervjuer som har genomförts med svenska aktörer har frågorna berört dagens förhållanden. Även om det faktum att värmeböljor förväntas förekomma oftare i Sverige i framtiden har varit ett av skälen till att genomföra studien, så ligger fokus i studien på vad som kan hända idag med dagens teknik.

Frågorna har i den mån det varit möjligt berört hur värme generellt påverkar tekniska system. En del system fungerar bra upp till en viss temperatur, men får problem om temperaturgränsen överskrids. Andra system påverkas om medeltemperaturen har varit hög under några dygn, men kan klara enstaka timmar av höga temperaturer. I den mån det har varit möjligt har intervjuerna syftat till att ta reda på under vilka värmeförhållanden ett system kan påverkas negativt. I de fall ett konkret exempel har efterfrågats på vad som menas med en värmebölja har vi använt oss av det scenario som finns beskrivet i Mossberg Sonnek m fl (2013).

De konsekvenser som har diskuterats under intervjuerna har varit direkta konsekvenser av att ett system eller en komponent går sönder, exempelvis att ett kabelfel kan leda till ett lokalt elavbrott. Vilka konsekvenser det i sin tur ger på samhällsviktig verksamhet har inte diskuterats i någon större utsträckning.

Med järnvägstransporter avses i studien långväga transporter som sker i det svenska järnvägsnätet. Lokala spårbundna transporter som exempelvis spårvägar och tunnelbana är inte inkluderade i studien.

2. Tidigare värmeböljor

Internationellt har det förekommit flera långvariga värmeböljor som har fått stora konsekvenser för samhället. I tabell 1 ges några exempel på omfattande värmeböljor som har inträffat i närtid.

År	Geografisk plats
1995	Chicago
2001	Östra USA
2003	Södra Europa
2006	Nordamerika
2006	New York
2006	Europa
2009	Sydöstra Australien
2010	Norra halvklotet
2013	Australien
2013	Japan

Tabell 1. Exempel på värmeböljor de senaste 20 åren i industrialiserade länder.¹

Två av dessa värmeböljor, den i södra Europa 2003 och den i sydöstra Australien 2009, beskrivs mer i detalj nedan. Värmeböljan i södra Europa är intressant eftersom den temperaturmässigt var extrem och inträffade i vårt geografiska närområde. Värmeböljan i Australien är också intressant, även om den inträffade på andra sidan jordklotet. Den ligger närmare i tiden, teknik och infrastruktur liknar de som finns i Sverige och konsekvenserna för olika samhällsviktiga verksamheter finns dokumenterade.

I bilaga 2 finns en sammanställning över de sektorer (och i vissa fall funktioner) som fick problem på grund av värmen under de två värmeböljorna, samt vad problemen bestod av. Sammanställningen låg till grund för valet av verksamhetsområdena elförsörjning och järnvägstransporter som beskrivs närmare i avsnitt 3 och 4.

Värmeböljan i södra Europa 2003

Omfattning och utbredning

Värmeböljan i södra Europa startade i juni 2003 och pågick hela juli och in i första halvan av augusti. Värmeböljan hade sitt centrum i den sydöstra delen av

¹ Tabellen är sammanställd utifrån uppgifter från Internet och är inte nödvändigtvis fullständig.

Frankrike, men hade en geografisk utsträckning från Spanien i väst till Tjeckien i öst samt från Tyskland i norr och till Italien i söder.

Det extrema vädret orsakades av ett kraftigt högtryck som lade sig över västra Europa och motade bort de regnfulla lågtryck som vanligtvis sveper in över Europa från Atlanten. Samtidigt kom varm torr luft från den södra delen av medelhavsområdet.

Medeltemperaturen under sommaren 2003 avvek som mest med 4-5 °C från det normala. I Storbritannien slogs ett värmererekord när temperaturen den 10 augusti nådde 38,1 °C. I Frankrike steg temperaturerna upp emot 40 °C, en nivå som bibehölls i två veckor. I Schweiz var juni den varmaste månaden någonsin uppmätt under de 250 år som temperaturen har registrerats. Senare, den 11 augusti sattes ett värmererekord på 41,5 °C.

Juli månad karakteriserades av torrt och varmt väder centrerat kring Frankrike, Spanien, Tyskland och Italien. Även om det föll en del nederbörd i området under perioden så avdunstade desto mer vatten, vilket gav upphov till ett underskott i vattenbalansen med upp till 380 mm i södra Europa.

Effekterna på hälsan var påtagliga. Det rapporterades att över 30 000 fler personer dog sommaren 2003 jämfört med en vanlig sommar, vilket antogs bero på värmen. Av dessa inträffade 14 000 i Frankrike. Det var främst äldre personer som drabbades. Även naturen påverkades påtagligt liksom jord- och skogsbruk. För denna studie har dock konsekvenserna på tekniska system varit de mest intressanta (UNEP, 2004).²

Konsekvenser på tekniska system

Inom energiförsörjningen var det framför allt elsektorn som fick problem av värmen under sommaren 2003. Många kärnkraftverk i Europa som kyla med flodvatten fick reducera sin kapacitet, antingen för att flodnivån blev för låg eller för att kylvattnet av miljökäl blev för varmt för att kunna återföras till floderna (Rübelke och Vögele, 2011). Både i Frankrike och i Tyskland fick en del kärnkraftverk stängas av helt (Met Office, 2013). Flera elektriska komponenter överhettades också i värmen (Benzie m fl, 2011). Efterfrågan på el ökade markant eftersom användningen av luftkonditionering och kylanläggningar ökade (UNEP, 2004).

Inom transportsektorn var det främst järnvägen som drabbades. I Frankrike ställdes det nationella järnvägsbolaget SCNF inför en rad problem, främst för varma järnvägsvagnar och solkurvor som ledde till förseningar (Cochran, 2009). Även i Storbritannien uppstod solkurvor som ledde till att hastighetsrestriktioner fick införas vilket gav upphov till stora förseningar. Värst drabbad var Birmingham New Street Station där hälften av tågen ställdes in (BBC, 2003). Enligt Hunt m fl (2006) så borde signalsystemet fungera sämre i värmen eftersom de är beroende av kylning, men det finns inga rapporterade incidenter om det i Storbritannien under 2003.

² UNEP (2004) är referens för hela stycket.

Även annan spårbunden trafik påverkades av värmen. I sydvästra England överhettades kraftaggregat till spårvagnar (Benzie m fl, 2011). Tunnelbanan i London fick problem med ventilationen (Hunt m fl, 2006) och det finns rapporter om att värmen blev outhärdlig (Met Office, 2013). Inom busstrafiken rapporterades inga allvarliga konsekvenser, och inte heller inom fartygs- trafik. Den senare blev dock begränsad i Storbritannien på grund av för låga vattennivåer i floderna (Met Office, 2013).

Hunt m fl (2006) argumenterar för att bilar utsätts för en större risk att bli överhettade under en värmebölja, men författarna kan inte belägga det utifrån händelser under värmeböljan 2003. Om bilar blir överhettade finns det fara att människor blir fast ute på vägarna i varma fordon utan möjlighet till kylning.

Ett annat problem för biltrafiken är att vägbeläggningen kan smälta, vilket hände i Storbritannien under värmeböljan 2003 (NHS, 2011). Met Office (2011) tror dock att effekten till större del beror av exponeringen av solljus än lufttemperaturen. Ytterligare ett problem som noterades under värmeböljan var att ytbeläggningen började blöda så att vägavsnitt blev hala (Hunt m fl, 2006). Författarna tror dock inte att start- och landningsbanor för flyget skulle kunna påverkas på motsvarande sätt eftersom de beläggs med asfalt med en mycket högre densitet.

Inom dricksvattenförsörjningen rapporterades inga tekniska problem, men tillgången på vatten i dricksvattentäkter minskade på grund av avdunstning och låga flöden. Detta ställde till problem eftersom behovet av vatten samtidigt ökade till följd av värmen (Benzie m fl, 2011). NHS (2011) påpekar att konsekvenserna av vattenstoppen under värmeböljan blev större än vad de blivit under normala omständigheter.

I övrigt rapporterades en del fel i telekommunikation i Frankrike (McGregor m fl, 2007) och på teknisk apparatur vid sjukhus i England (Carmichael m fl, 2013). Frysar, IT-utrustning och laboratorietrustning slutade fungera i hettan med följderna att operationer och annat arbete fick ställas in. Vid ett flertal tillfällen överbelastades elsystem när personalen på sjukhuset använde bärbar luftkonditionering. I Frankrike bedömdes dessutom en stor andel av alla kylförvaringssystem vara otillräckliga (IPCC, 2012).

Värmeböljan i Australien 2009

Omfattning och utbredning

Australien har på senare tid drabbats av en rad värmeböljor som har inverkat negativt på individers hälsa och samhällets funktionalitet. Sedan 1910 har medeltemperaturen för Australien ökat med 0,9 °C. Australiens klimatkommission konstaterar att antalet dagar med maximala dygnstemperaturer

över 35 °C har ökat de senaste 50 åren.. Även antalet dagar med noterade temperaturrekord har ökat. Sommaren 2012/2013 var den varmaste hittills.³

Under perioden den 27 januari till den 8 februari 2009 upplevde sydöstra Australien vad som då beskrevs som en av de värsta värmeböljor som någonsin har drabbat landet. Under värmeböljan uppmättes nya rekord i maxtemperaturer för Adelaide (45,7 °C) och Melbourne (46,4 °C). I Melbourne låg den maximala dygnstemperaturen över 43 °C tre dagar i sträck. Temperaturerna dagtid låg under flera dagar 12-15 °C över de normala i stora delar av södra Australien (NCCARF, 2010).

De båda delstaterna South Australia och Victoria i sydöstra Australien drabbades hårdast. I delstaten Victoria avled 374 personer till följd av värmen. Uppskattningsvis dog cirka 500 personer i delstaternas huvudstäder, Adelaide med drygt en miljon invånare respektive Melbourne med cirka fyra miljoner invånare, till följd av värmen. Efter värmeböljan 2009 påbörjade The Victorian Government ett omfattande arbete med att ta fram policydokument och öka medvetenheten om riskerna med värmeböljor (VCSS, 2013).

Konsekvenser på tekniska system

Resultaten av en studie av McEvoy m fl (2012) tyder på att elförsörjningen var det område som var mest sårbart i Melbourne under värmeböljan 2009. En kombination av händelser ledde till flera omfattande elavbrott under den 29 och 30 januari 2009 i stora delar av Melbourne och delstaten Victoria. En orsak var det ökade behovet av el till följd av en ökad användning av kylning (McEvoy m fl, 2011). En halv miljon boende uppskattas ha varit utan elförsörjning i Melbourne under kvällen den 30 januari 2009. Händelserna resulterade i roterande bortkoppling av el i stora delar av västra och centrala Melbourne i perioder på 1-2 timmar (McEvoy m fl, 2011).

Tekniska system inom järnvägstrafiken påverkades också av värmeböljan. Solkurvorna ges ett stort utrymme i litteraturen när effekterna av värmeböljan summeras. Under de tre dagar då det var som varmast ställdes i genomsnitt 24 % av all tågtrafik i Melbourne in. När det var som värst ställdes 36 % av all tågtrafik in. Bortsett från påverkan på rälerorna och elförsörjningen uppges kylningen av vagnar för passagerare ha varit det största bekymret. Flera tågavgångar ställdes in till följd av havererade kylanläggningar ombord på tågen (McEvoy m fl, 2011).

I vägnätet var det framför allt vägbeläggningar som påverkades av värmen. På grund av värmen lägger sig bindemedel i asfalten på ytan och skapar hala vägbanor. Under värmeböljan rapporterades ett femtontal sådana händelser varav några på större trafikleder. Flera äldre tekniska system för reglering av trafikflöden, kameror och signaler visade sig vara känsliga för värmen. När det var som varmast, och i samband med ett omfattande elavbrott, var det 124

³ <http://climatecommission.gov.au/report/off-charts-extreme-january-heat-2013/> (hämtad 2013-09-09)

trafiksignaler i Melbourne som inte fungerade, som en följd av värmen och bortfallet av elförsörjningen (NCCARF, 2010).

För hamnarna rapporterades inga allvarliga konsekvenser till följd av haverier i tekniska system. Produktiviteten i hamnen gick dock ner under värmeböljan till följd av restriktioner för hur mycket personalen får jobba vid hög värme. Det uppstod en del förseningar för fartyg på grund av att arbetet med lastning och lossning genomfördes under längre tid än vanligt. Något som riskerar att leda till stora kostnader längre bort i en varuflödeskedja (NCCARF, 2010).

Under värmeböljan rapporterades inte några allvarliga störningar i dricksvattenförsörjningen. Stora delar av infrastrukturen för dricksvattenförsörjningen uppges vara robust och tåla höga temperaturer. De få problem som rapporterades var relaterade till funktionen hos elektriska motorer eller reducerad reningskapacitet till följd av fel på annan elektrisk utrustning (NCCARF, 2010).

Inom området telekommunikationer uppstod inga allvarliga incidenter. Kylningen av växlar och hanteringen av den extra belastning som det innebär att hålla temperaturerna vid höga omgivningstemperaturer var den största utmaningen. I de få fall där växlar eller ledningar hade skadats av värmen lyckades man dock koppla om tele- och datatrafiken (NCCARF, 2009).

Från flygplatserna rapporterades inga störningar under värmeböljan. Vid Australiens näst största flygplats, Melbourne Airport, blev inga flyg försenade, inga avgångar ställdes in och start- och landningsbanorna (asfalts- eller betongbanor) fungerade utan problem liksom luftkonditioneringen av flygplatsens lokaler. Kylningen som normalt ska fungera till 36 °C fick dock justeras uppåt med ytterligare två °C. Elförbrukningen på flygplatsen ökade med ungefär 15-20 procent (NCCARF, 2010).

Utifrån en studie utförd av delstaten Victoria har luftkonditionering i både privata och offentliga lokaler gått sönder till följd av den långa perioden med extrema temperaturer. Den rapporteras också om indirekta konsekvenser som problem med hissar i skyskrapor till följd av strömavbrott. Eftersom reservkraftaggregat för hissarna under flera timmar inte fungerade som det var planerat uppges många, framför allt äldre personer, därmed ha blivit utsatta för allvarliga risker (VCSS, 2013).

3. Konsekvenser av tidigare värmeböljor på elförsörjningen

Utifrån litteraturstudierna över de två värmeböljorna identifierades elförsörjning och järnvägstransporter som två intressanta verksamhetsområden, vilka fördjupades ytterligare. I de följande avsnitten presenteras områdena var för sig uppdelat på vad som hände i Europa och i Australien och vad som skulle kunna hända i Sverige.

Under värmeböljan i Europa 2003 påverkades både produktionen och distributionen av el. Den enskilt största orsaken till problem med elförsörjningen i Europa var att kylvattnet som togs från floder till kärnkraftverken blev för varmt. Totalt reducerades produktionen i 30 europeiska kärnkraftverk, och Frankrike drabbades hårdast (Rübbelke och Vögele, 2011). Eftersom kärnkraften i Frankrike står för den huvudsakliga elproduktionen⁴ så innebar reduktionen stora problem. Låga vattennivåer påverkade också vattenkraften vars produktion sjönk med 18 % i Frankrike (Salagnac, 2007). Även andra produktionsslag, som elproduktion från kol, gas och bensin, påverkades under värmeböljan (Salagnac, 2007), men det går inte att hitta detaljer kring vilka system eller komponenter som påverkades.

I Australien, som saknar kärnkraft, fick man andra typer av problem i elförsörjningssystemet under värmeböljan 2009. Värmen ledde både till en reducerad produktion av el och till en minskad överföringskapacitet, vilket i slutändan gav upphov till ett flertal stora strömavbrott. I en studie av McEvoy m fl (2011) följdes konsekvenserna av värmeböljan på kritisk infrastruktur upp genom intervjuer med policynära personer och experter från 34 olika organisationer. Ett tydligt budskap från de intervjuade var att elektricitet och värme inte är en bra kombination och att värme är den enskilda faktor som ställer till mest besvär i elförsörjningen. Inom eldistributionen bedömdes framför allt överföringsledningarna och transformatorer vara känsliga för värme.⁵ När det gäller elproduktionen nämns inga specifika system eller komponenter som sårbara.

Elbehov

Både i Europa 2003 och i Australien 2009 ökade behovet av el den tid värmeböljan pågick. Detta berodde i huvudsak på den ökade användningen av luftkonditionering och andra typer av kylsystem. Elkonsumtionen i Frankrike steg

⁴ Kärnkraften står för 77 % av elproduktionen enligt Salagnac, (2007).

⁵ Inte enbart höga tillfälliga temperaturer är problematiska för kritisk infrastruktur utan även många på varandra följande dagar av värme och/eller höga temperaturer nattetid.

med 4,8 % relativt sommaren 2002, och det kan i sammanhanget vara intressant att påpeka att försäljningen av luftkonditioneringssystem ökade med 30-40 % jämfört med samma period året innan (Salagnac, 2007). Även i Australien ökade konsumtionen av el under värmeböljan och efterfrågan nådde maximalt en nivå som var 7 % högre än den tidigare rekordnivån (McEvoy m fl, 2011).

Det finns en risk att elsystemet fallerar när efterfrågan på el blir stor (McGregor m fl, 2007). Om elproduktionen samtidigt minskar, vilket den gjorde både i Frankrike och i Australien till följd av olika tekniska problem, blir påfrestningarna ännu större. Framför allt i Australien blev konsekvenserna stora i form av flera och långvariga elavbrott (NCCARF, 2010). I en del av Melbourne blev 500 000 invånare utan el (McEvoy m fl, 2011).⁶ I Europa uppstod inte lika storskaliga elavbrott, men exempelvis Frankrike, som i vanliga fall exporterar el, blev tvungen att importera el från England (Rübbelke och Vögele, 2011). Carmichael m fl (2013) påpekar att om elförsörjningen är sårbar så blir även den elektriska utrustning och de IT-system, som krävs för att hantera en kris sårbara. Detsamma gäller för alla verksamheter som är beroende av el.

Kylda komponenter

Det finns många komponenter som behöver kylas då man genererar och distribuerar el. Det görs med allt från stora kyltorn till mindre kylanläggningar och fläktar som kyler exempelvis motorer, pumpar och transformatorer. När temperaturen stiger minskar möjligheten att kyla dessa komponenter (McEvoy m fl, 2011). Generellt gäller att alla kylsystem blir sårbara då de opererar utanför de temperaturgränser för vilka de är designade (Carmichael m fl, 2013).

När belastningen på elnätet ökar under en värmebölja så genereras mer värme⁷ samtidigt som kylkapaciteten är reducerad. I värsta fall bildas positiva feedback-loopar som leder till att temperaturen hela tiden ökar tills någon komponent går sönder (McEvoy m fl, 2011).

Kylvatten till kärnkraftverk

I många länder i Europa ligger kärnkraftverken nära floder från vilka man tar kylvattnet. Till följd av värmen och torkan 2003 blev vattennivåerna i floderna så låga i vissa regioner i Frankrike att kylprocessen blev omöjlig och reaktorerna var tvungna att ställas av (UNEP, 2004). Andra reaktorer fick stängas på

⁶ Även USA har vid ett flertal tillfällen drabbats av stora elavbrott i samband med värmeböljor då elbehovet har överstigit eltillgången. För att komma till rätta med problemen har flera städer, som exempelvis New York, infört planerade el-avbrott enligt ett rullande schema (Smoyer-Tomic, 2003). Samma åtgärd användes i State of Victoria, Australien 2009 (NCCARF, 2011).

⁷ Den genererade värmen ökar kvadratisk mot belastningen (NCCARF, 2010).

grund av att temperaturen på kylvattnet blev för hög.⁸ För vissa reaktorer lyckades man inte kyla kylvattnet så mycket som krävs av miljöskäl för att få återföra det till floderna och kärnkraftverken fick då stängas av (UNEP, 2004). Vid några få tillfällen fick dock kraftverken tillstånd att överträda regelverket (Salagnac, 2007). Generellt gäller att en för hög vattentemperatur kan kompenseras av ett högre vattenintag, men under en värmebölja kan både temperaturen hos vattnet och kvantiteten vara ett problem (Rübelke och Vögele, 2011).

I Londons beredskapsplan för värmeböljor påpekas att även höga lufttemperaturer kan vara ett problem för kärnkraftverken och att dessa kan sluta fungera om temperaturen stiger över 40 °C. Det har dock inte hänt hittills. Den högst uppmätta temperaturen har varit 38 °C (NHS, 2011).

Distribution av el

I studien av McEvoy m fl (2011) redovisas dels vad som hände inom elförsörjningen under två dagar i sydöstra Australien under värmeböljan, den 29 och 30 januari 2009, dels vilka potentiella effekter värmen kan ha på olika tekniska komponenter. Beskrivningen av vilka system och komponenter som gick sönder, eller fick reducerad effektivitet, är knapphändig i förhållande till beskrivningen av vad som skulle kunna hända. De sårbarheter i anknytning till eldistributionen som redovisas nedan behöver därför inte ha orsakat de problem som uppstod 2009, men de skulle potentiellt kunna ha gjort det.

Kapaciteten för överföring av elenergi genom kraftledningar och andra överföringsledningar minskar vid en värmebölja. Detta beror på att när en ledning blir varm så ökar dess resistans och därmed förlusten av elenergi (Nguyen m fl, 2011). Kraftledningar, som är av metall, expanderar dessutom under kraftig värme och börjar bågna vilket kan medföra problem (Smoyer-Tomic, 2003). I Australien finns lagstadgade riktlinjer för hur mycket ledningarna får hänga ned. Om dessa överskrids måste man minska på mängden el som förs genom ledningarna (McEvoy m fl, 2011).

Transformatorer är ofta beroende av kylning och om kylningen inte fungerar kan transformatorerna gå sönder. Vissa transformatorer är monterade på ståltankar fyllda med olja. Oljan fungerar både som isolering och som ett kylmedel och kyls via en värmeväxlarprocess. Om oljan värms direkt av solstrålning eller av en hög omgivande temperatur kan det bli problem. Likaså om strömmen genom transformatorn ökar eftersom den då värmer upp oljan. (NCCARF, 2010)

Även omformare, som omvandlar elenergin från en spänningsform till en annan, behöver transportera bort överskottsvärme till omgivningen. Om lufttemperaturen ökar så minskas effekten hos omformaren och därmed effektiviteten av elöverföringen (Smoyer-Tomic, 2003). Under värmeböljan 2009 gick Basslink, ledningen som är länken mellan de elektriska näten i

⁸ Kärnkraftverk som kylades med havsvatten klarade sig betydligt bättre under värmeböljan 2003 (Rübelke och Vögele, 2011).

Tasmanien och Victoria, ner till följd att en omformare gradvis slutade att fungera när temperaturen närmade sig den temperatur som omformaren maximalt var designad för (NCCARF, 2010).

Vissa typer av isolatorer, gjorda av komposit, fungerar sämre vid höga temperaturer när det finns fukt, rök eller aska i luften, vilket kan vara följderna av en skogsbrand som orsakats (till del) av värmeböljan (McEvoy m fl, 2011).

Eftersom vi i den inledande översikten av värmeböljor internationellt noterat att ett flertal värmeböljor i USA lett till stora strömavbrott, kompletterade vi litteraturstudierna med att söka information om vilka tekniska system och komponenter inom elförsörjningen som har påverkats under värmeböljor i USA. Det finns dock mycket få redovisningar av vilka tekniska komponenter som drabbas, med undantag för jordkabelledningar. Ett exempel är en värmebölja som inträffade i New York 2006 och som orsakade problem med elleveranserna i nio dagar. När problemen var som värst fungerade bara 12 av den lokala elleverantörens 22 stamnätsledningar (jordkabelledningar). Detta ledde till att många invånare och företag i staden stod utan el (Wiegler, 2006).

Jordkabelledningar värms upp snabbare än luftledningarna, de är svårare att reparera och eventuella skador på isolationsmaterialet kan vara svåra att hitta (Wiegler, 2006). Samma problem nämns år 2013 i samband med en värmebölja i juli i New York.⁹

⁹ <http://newyork.cbslocal.com/2013/07/19/heat-wave-continues-to-put-pressure-on-power-grid/>

4. Möjliga konsekvenser för den svenska elförsörjningen

De områden som identifierades som mest problematiska inom elförsörjningen under värmeböljorna i Europa och Australien var 1) det ökade behovet av el som inte kunde uppvägas av en ökad produktion, 2) svårigheten att kyla kärnkraftverk till följd av för varmt kylvatten och 3) distributionen av el, som försämrades både som en direkt följd av värmen och av att tekniska komponenter slogs ut.

I det här avsnittet avhandlas om motsvarande problem skulle kunna uppstå i Sverige under en värmebölja. Beskrivningen av den svenska elbalansen baseras enbart på litteraturstudier medan beskrivningarna av svensk kärnkraft och el-distribution främst baseras på intervjuer med representanter för relevanta organisationer.

Sveriges elbalans och påverkan av en värmebölja

Effekter av en värmebölja på elbalansen kan uppkomma på både användar- och tillförselsidan. I Frankrike och Australien steg elbehovet med 5-7 % under de perioder som värmeböljan varade. Även i Sverige kan man förvänta sig att behovet av el kommer att öka under en värmebölja i takt med ett ökat behov av olika former av kylning, som fläktar, luftkonditionering, kylar och frysar. Hur stor ökningen blir beror dels på hur varmt det blir, dels på tillgången på kylutrustning och på hur den används.¹⁰ Ifall ett ökat elbehov blir ett problem för samhällets elförsörjning beror i sin tur på möjligheterna att öka produktionen av el, och detta samtidigt som produktionen kan vara reducerad till följd av värmeböljan (av orsaker som redovisades i föregående avsnitt).

Nedan förs en diskussion kring vilka effekter en värmebölja skulle kunna få på Sveriges elbalans, det vill säga på behovet av el och förmågan att svara upp mot det med en ökad produktion. Först diskuteras det svenska elsystemet med fokus på kapaciteten sommartid. Därefter diskuteras hur elbehovet skulle kunna påverkas av ökat kylbehov med utgångspunkt i internationella data.

Sveriges eltillförsel och efterfrågan

Sveriges energitillförsel domineras av vattenkraft och kärnkraft. Vindkraft är däremot det energislag som växer snabbast. När det gäller installerad effekt (den effekt som maximalt går att producera) så är den klart störst hos vattenkraften. Å andra sidan är den genomsnittliga tiden som vattenkraften utnyttjas

¹⁰ Det är svårt att dra en slutsats om hur mycket elbehovet ökar utifrån erfarenheterna från andra länder, som Frankrike och Australien, eftersom såväl tillgången till kylapparater som elsystemets struktur skiljer sig åt.

lägre än för exempelvis kärnkraft eftersom produktionen begränsas av det totala vattenflödet i vattendragen (se tabell 2).

	Installerad effekt, MW	Elproduktion, TWh
Vattenkraft	16197	66,7
Vindkraft	2899	6,1
Kärnkraft	9363	58,0
Övrig värmekraft*	7988	16,8
<i>Summa</i>	<i>36463</i>	<i>147,5</i>

*Med övrig värmekraft menas kraftvärme som produceras i industrin och inom fjärrvärmesystemen, kondenskraftverk, gasturbiner, etcetera.

Tabell 2. Installerad effekt och elproduktion 2012 (Svensk Energi, 2013).

Vattenkraften har en attraktiv funktion eftersom vattnet kan lagras i dammar och effekten snabbt kan anpassas efter efterfrågan. Vattenkraften används därför som en reglerande faktor för hela elsystemet och produktionen anpassas efter efterfrågan så att den maximala inkomsten optimeras. Relativt sett låga elpriser på sommaren innebär att vattenkraftsproduktionen under sommaren är låg relativt vinterhalvåret, även om dammarna är välfyllda och produktionsförmågan därmed hög. Dammarna når ett medelår en fyllnadsgrad på ca 80 % i juli vilken bibehålls till oktober/november för att sedan sjunka ner mot ca 20 % i april innan den stora tillrinningen börjar (Svensk energi, 2013).

Kärnkraftsproduktionen är också lägre på sommaren än under vintern eftersom sommaren är en period på året då man passar på att genomföra olika former av underhåll. Möjligheten att producera el från kraftvärme i fjärrvärmesystemen bestäms av värmebehoven i systemen. Eftersom behovet av fjärrvärme är störst under vintern så blir även elproduktionen störst då. Detta syns i produktionsstatistiken som redovisas i tabell 3.

	Elproduktion, TWh		
	Januari 2012	Juli 2012	Augusti 2012
Vattenkraft	7,2	5,8	6,1
Vindkraft	0,6	0,4	0,4
Kärnkraft	5,4	4,5	4,5
Övrig värmekraft*	2,0	0,7	0,7
Import	1,6	0,8	1,3
<i>Total tillförsel</i>	<i>16,8</i>	<i>12,3</i>	<i>12,9</i>

*Med övrig värmekraft menas kraftvärme som produceras i industrin och inom fjärrvärmesystemen, kondenskraftverk, gasturbiner, etcetera.

Tabell 3. Elproduktion i svenska kraftverk under januari, juli och augusti 2012.¹¹

¹¹ Nedladdat från SCB:s databas, 2013.

Som nämnts tidigare är anledningen till att det produceras mindre el från de flesta kraftslag sommartid att efterfrågan på el är lägre då. Av tabell 3 framgår att elproduktionen i juli 2012 var ungefär 25 % lägre än i januari samma år. Medan man under ett typdygn sommartid har ett maximalt effektbehov på 13-14 GW är motsvarande behov vintertid runt 22 GW (med andra ord 60-70 % högre än sommartid). Det maximala effektbehovet år 2012 var cirka 26 GW (Svensk energi, 2013).

En huvudförklaring till skillnaden i effekt över årstiderna är den stora betydelse elvärme har för uppvärmning av svenska byggnader och den relativt begränsade användningen av kylning av byggnader. Skillnaden mellan vinter och sommar förklarar varför i princip allt fokus på risk för kapacitetsbrist i Sverige riktar sig mot hur det ser ut de kallaste vinterdagarna.

Möjliga effekter av en värmebölja

Erfarenheterna från värmeböljan 2003 i Frankrike pekar på att elbehovet under värmeböljan var cirka 5 % högre än motsvarande tidpunkt år 2002 (Salagnac, 2007).¹² För Frankrike har även en skattning gjorts att elbehovet skulle öka med 250-300 MW per grad temperaturhöjning över nivån 25 °C (Letard m fl, 2004).

Ett enkelt räkneexempel med ovanstående data ger en uppskattning av hur en värmebölja skulle kunna påverka effektbehovet i Sverige. Om man antar samma effektökning per capita för Sverige som i Frankrike, skulle det motsvara 36-44 MW/°C. Det är endast en grov uppskattning eftersom det inte har varit möjligt att jämföra graden av luftkonditionering och annan luftkylning i Frankrike med vad som används i Sverige, och inte heller i vilken grad installationen av sådan teknik kan förväntas öka i framtiden.

Med en antagen temperaturhöjning från 25 till 38 °C¹³ skulle antagandet ovan medföra ett ökat effektbehov i Sverige motsvarande 470-570 MW, vilket motsvarar ungefär 3-4 % av effektbehovet en normal sommardag. Effektbehovet kommer då att vara klart lägre än effektbehovet vintertid, och det borde vara möjligt att hantera genom att öka effekten i befintliga vattenkraftverk. Den potentiella ökningen av effektbehovet kan också jämföras med den installerade kapaciteten i befintliga kondenskraftverk, som fungerar som reservkapacitet, och som vid slutet av år 2012 uppgick till cirka 1500 MW.¹⁴

För Frankrike anges att produktionen i kärnkraftverken minskade med 4 % under värmeböljan 2003, huvudsakligen på grund av att den högsta tillåtna temperaturen i floderna nåddes lokalt. En motsvarande minskning i Sverige borde inte innebära någon allvarlig risk för att elbalansen inte skulle kunna upprätthållas. Det faktum att svenska kärnkraftverk till skillnad från dem i Frankrike är lokaliserade vid havet snarare än vid floder torde snarare göra de svenska verken mindre känsliga för värme än de franska.

¹² Letard m fl (2004) anger att ökningen var något högre, motsvarande 5-10%.

¹³ 38 °C motsvarar den högsta temperaturen i det värmeböljescenario som presenteras i Mossberg Sonnek m fl (2013).

¹⁴ Vintertid är den upphandlad av Svenska kraftnät som effektreserv.

Om efterfrågan på el trots allt skulle bli större än tillgången så drabbas samhället av elbrist, och det kan i värsta fall hända att elförsörjningen kollapsar i delar av Sverige. För att skydda elsystemet kan Svenska Kraftnät beordra elnätsföretagen att koppla bort vissa elanvändare (Veibäck m fl, 2013). Bortkopplingen sker då enligt de prioriteringsregler som Energimyndigheten har utvecklat för att styra el till samhällsviktiga elanvändare (SFS, 2011:931).

Kylningen av svenska kärnkraftverk

Den yttre faktor som har störst påverkan på effektutbytet i kärnkraftverken är tillgången till kallt kylvatten (Combitech, 2009), och det som gjorde att flera kärnkraftverk i Europa var tvungna att reducera sin elproduktion under värmeböljan 2003 var just att kylvattnet blev för varmt. I underlaget till den svenska klimat- och sårbarhetsutredningen nämns att såväl svenska kärnkraft- som oljekondensverk kan få en försämrad verkningsgrad om temperaturen höjs på det ytvatten som används som kylvatten (STEM, 2009). Oljekondenskraftverken förväntas inte påverkas i lika hög utsträckning som kärnkraftverken.

För att undersöka närmare hur värme kan påverka kylningen av svenska kärnkraftverk intervjuades ett antal personer i egenskap av representanter för följande organisationer:

- Strålsäkerhetsmyndigheten (angående kärnkraft generellt)
- Vattenfall AB (angående Ringhals och Forsmark)
- EON Kärnkraft i Sverige AB (angående Oskarshamnsverket, OKG)

Intervjuguiden finns i bilaga 1.

Vattentemperaturer vid intag av kylvatten

Sverige har tre kärnkraftverk; Ringhals och Forsmark, som drivs av Vattenfall AB, och Oskarshamnsverket, som drivs av EON Kärnkraft i Sverige AB. Ringhals har fyra reaktorer och Forsmark och Oskarshamnsverket har tre reaktorer vardera.

Alla kärnkraftverk ligger vid havet. Stora mängder havsvatten används för att kyla kraftverkens kondensorer varefter vattnet släpps ut i havet igen. För att kyla reaktorerna i Forsmark och Ringhals används vatten från kustzonens ytskikt (Ehlin m fl, 2012) medan reaktorer i Oskarshamn numera kyls med djupvatten vilket normalt sett är kallare än vattnet vid ytan¹⁵. Det kan dock hända att varmt ytvatten pressas ned på djupet och att temperaturen på kylvattnet från djupvattenintag då stiger till samma nivå som vid ytvattenintagen (Ehlin m fl, 2012). Exempelvis är den högst uppmätta temperaturen vid intaget vid Oskarshamns tredje reaktor, O3, som haft djupvattenintag sedan starten 1985, 21,5 °C (Ehlin m fl, 2012).

Enligt gällande säkerhetsbestämmelser ska reaktorerna ställas av om intags-temperaturen på kylvattnet uppnår en viss nivå. Nivån varierar för de olika reaktorerna inom intervallet 25-27 °C och framgår av tabell 4. Där framgår

¹⁵ Nils Erik Setterstål, EON Kärnkraftverk i Sverige AB, 18 november 2013.

också att gränserna aldrig överskridits hitintills, men att det varit nära vid ett flertal tillfällen, t.ex. för reaktor 2 vid Ringhals som får ställas av vid 25 °C och där intagstemperaturen maximalt har varit 24,5 °C.

Reaktor	Det största antalet dagar under något år med intagstemp. >22 °C	Det största antalet dagar under något år med intagstemp. >24 °C	Största uppmätta temp vid intag, °C	Temp när reaktorn skall ställas av, °C, enligt gällande säkerhetsbestämmelser
F1 och F2	4	0	23,4	27
F3	4	0	23,4	25
O1	5	0	22,8	26
O2	22	3	24,4	26
O3	0	0	21,5	25
R1	19	1	24,5	27
R2	19	1	24,5	25
R3-R4	43	21	25,6	27

Tabell 4. Intagstemperaturer på havsvatten hos svenska kärnkraftverk (Ehlin m fl 2012, information från Carl Sunde, Vattenfall AB samt Nils-Erik Setterstål, Eon Kärnkraftverk i Sverige AB).¹⁶

Klimatdata visar att antalet dagar per år då vattentemperaturen ligger över 20 °C kommer att öka liksom medelvattentemperaturen och att de största förändringarna kommer att ske vid Forsmark (Ehlin m fl , 2012).

De svenska kärnkraftverken byggdes på 1970- och 1980-talen och dimensionerades då för intagstemperaturer på 15-18 °C.¹⁷ I länder med varmare vatten har man dimensionerat kärnkraftverken för högre temperaturer, vilket innebär att kärnkraftverken har större kondensationsbassänger och/eller ett högre vattenflöde jämfört med de svenska motsvarigheterna.

Produktionen hos reaktorerna avtar dock redan innan de har nått den temperatur vid vilken de måste ställas av. Det finns krav på effektreducering för några av reaktorerna då temperaturen stiger över en viss nivå (som kan ligga mellan 18 och 25 °C). Effekten hos reaktorerna måste dras ned med 3 % för varje grad som nivån överstigs.¹⁸ De temperaturer vid vilka effektreducering

¹⁶Informationen om uppmätta vattentemperaturer kommer från Ehlin mfl (2012). O1 och O2 har sedan 2012 djupvattenintag medan O3 haft djupvattenintag sedan starten 1985. Enligt uppgifter från Nils-Erik Setterstål från EON kärnkraftverk AB har ytvattentemperaturer på 27 °C uppmätts utanför Oskarshamn.

¹⁷ Leif Karlsson, Strålsäkerhetsmyndigheten, 8 november 2013.

¹⁸ Leif Karlsson vid Strålsäkerhetsmyndigheten, 8 november 2013

måste ske har redan uppnåtts vid ett antal tillfällen vid Ringhals, Forsmark och Oskarshamnsverket, även om reduktionerna endast har varit marginella.¹⁹

Vattentemperaturer vid utsläpp av kylvatten

I kylsystemen höjs temperaturen med 10-12 °C vid full drift, vilket innebär att kylvattnet är 10-12 °C varmare då det släpps ut jämfört med när det tas in. Redan idag har det utgående vattnet periodvis nått temperaturer som är kritiska för vissa arter av fisk och andra organismer. Ehlin m fl (2012) har gjort en analys av hur pass mycket större effekterna blir på den omgivande marina miljön i ett varmare klimat. Analysen visar att en temperaturhöjning på det utgående vattnet kan leda till stora påfrestningar och även lokal dödlighet för flera arter i kärnkraftverkens närområden.

På grund av dessa problem föreslår Ehlin m fl (2012) att man i framtiden ska se över var man lägger vattenintagen i kärnkraftverken. Om en nästa generations reaktorer kommer att byggas så kommer de sannolikt att bli större än dagens och därmed få ett ökat kylbehov. Användning av djupvatten, som vanligtvis är svalare, rekommenderas vilket innebär att ytvattenintagen kan komma att behöva byggas om. Det är då viktigt att lägga intagen på ett sådant djup att saltvattenintag undviks eftersom det, vid utsläppet, finns risk för att vattnet sjunker och då inte avger sin värme till luften.

Gällande villkor för verksamheten med hänsyn tagen till miljöpåverkan innebär för Ringhals del att uppvärmningen av kylvattnet regleras, men inte den maximala temperaturen på vattnet som släpps ut. För Ringhals gäller att uppvärmningen av kylvattnet regleras, men inte den maximala temperaturen på vattnet som släpps ut²⁰. OKG har däremot vare sig villkor som reglerar temperaturökningen eller villkor som reglerar maximal temperatur på utgående vatten²¹. Den maximala uppvärmningen för vattnet som används i Ringhals är, enligt villkoren, 12 °C. Sammantaget visar detta på att elproduktionen inte med stöd av miljöbalken kan stoppas på grund av för hög temperatur på utsläppsvattnet. Temperaturen på detta vatten begränsas dock av temperaturen på det ingående vattnet som får vara högst 27 °C. Med en uppvärmning på så mycket som 12 °C är det möjligt med utsläppstemperaturer på kylvattnet upp till 39 °C.

Eldistribution i Sverige

I Australien fick man problem med eldistributionen under värmeböljan 2009 där bland annat kraftledningar och andra överföringsledningar fick en reducerad kapacitet. Även i Sverige förväntas höga temperaturer kunna leda till att befintliga kablar och ledningar får en lägre överföringsförmåga, vilket i sin tur kan leda till överbelastning och därmed elavbrott (Combitech, 2009). Främst berörs de regionala och lokala näten (STEM, 2009).

¹⁹ Carl Sunde, Vattenfall AB, mejl den 15 november 2013 samt Leif Karlsson, Strålskyddsmyndigheten, mejl den 18 november 2013.

²⁰ Per Drake, Vattenfall AB, 18 och 21 november 2013.

²¹ Paul Arvidsson, EON Kärnkraftverk i Sverige AB, 26 november 2013.

I Australien gick vid flera tillfällen transformatorer och omformare sönder när de fick otillräcklig kylning, vilket fick till följd att distributionen av el via vissa ledningar stängdes av. Motsvarande problem förväntas även kunna inträffa i Sverige under hög värme, speciellt för transformatorer som tillhör regionnätet och är placerade inomhus (STEM, 2009). Vissa typer av isolatorer visade sig också fungera sämre i Australien, framför allt i samband med skogsbränder som medförde stora mängder aska och rök i luften. I New York 2006 skadades jordledningar allvarligt av värmen när isolationen runt om dem smälte av värmen.

För att ta reda på om kraftig värme kan skapa liknande problem i Sverige och om det finns en beredskap för det så gjordes ett antal intervjuer med representanter för det svenska stam-, region- och lokalnätet. Dessa intervjuades per telefon och/eller har kontaktats per mejl. Följande organisationer kontaktades:

- Elforsk (angående elnätet generellt)
- ABB (angående transformatorer)
- Svenska Kraftnät (angående stamnätet)
- Vattenfall eldistribution (angående region- och lokalnät)
- Skånska energi (angående lokalnät)

Elnätets uppbyggnad

Elnätet kan sägas bestå av tre delar: stamnätet, regionalnäten och lokalnäten. För att överföra stora mängder el över stora avstånd används stamnätet - system med 400 kV och 220 kV kraftledningar som fungerar som motorvägar för elkraften. Det svenska stamnätet består av totalt cirka 15 000 km långa 400 kV- och 220 kV-kraftledningar samt cirka 150 transformator- och koppelstationer som knyter ihop ledningsnätet.²²

Elektriciteten leds sedan vidare i regionnätens ledningar med spänningar från 130 kV ner till 20 kV. Innan elen förs in i regionnätet har den transformerats - tagits ned - från spänningsnivån 220 kV eller 400 kV till regionnätets lägre nivå. Elintensiva industrier som smältverk och pappersbruk får oftast sin el direkt från regionnätet. De lokala elnäten tar vid efter regionnäten och skickar elektriciteten vidare till mindre industrier, hushåll och övriga användare. Då har elen stegvis transformerats ned till 230 volt, vilket är den spänning vi har i våra hem.

Det är cirka 170 företag som äger elnäten i Sverige. Stamnätet har bara en ägare; det statliga affärsverket och myndigheten Svenska Kraftnät (SvK). Stamnätets kunder är nästan uteslutande de elnätsföretag som äger regionnäten. Tre elnätsföretag; EON Elnät Sverige, Vattenfall Eldistribution och Fortum Distribution, äger större delen av de svenska regionnäten.²³

Tidigare erfarenheter

Intervjuerna med organisationer som äger elnäten på stam-, region- och lokalnäten visar sammanfattningsvis att det finns få erfarenheter av problem under varma perioder och att en lång och kraftig värmebölja inte är det man uppfattar

²² <http://www.svk.se/energimarknaden/el/Stamnätet/> i november 2013

²³ <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elnätet/> i november 2013

som det mest aktuella hotet. Hot eller utmaningar som uppfattas som mer relevanta är t.ex. översvämningar, solstormar och ökad efterfrågan på el till följd av att sommargäster dröjer sig kvar längre på höstarna.

Möjligheten att råka ut för en lång och kraftig värmebölja är inte heller något som de intervjuade lätt kan föreställa sig men de är ense om är att det svenska elnätet har goda möjligheter att klara av en ökad efterfrågan på el under sommaren då det är dimensionerat för att klara höga belastningar på vintern. Det beror på att vi i Sverige, till skillnad mot andra länder, använder mycket el till uppvärmning under vintern medan vi under sommaren inte använder el-driven kylning i någon större omfattning.

Det finns exempel på att belastningen idag kan skilja 100 % i de lokala näten mellan sommar och vinter.²⁴ Samtidigt finns det en hög medvetenhet om att värme frestar på elsystemet och att vi inte skulle klara en lika stor överföring en varm sommar som en kall vinter utan problem.

Ledningar

Alla intervjuade tar upp nedhängande luftledningar till följd av värmen som ett problem. Dessa kan få kontakt med underliggande vegetation vilket då medför överslag. Problemet är störst på stamnätet där spannen är långa. Om ett överslag uppstår och om det samtidigt är torrt kan brand uppstå.

Flera olika åtgärder för att motverka dessa problem föreslås: tillsyn och röjning av vegetation i utsatta ledningsgator innan sommaren samt mätning av nedhängningen. Den förstnämnda åtgärden kan innebära att intervallen mellan röjningarna, som nu ligger på 6-8 år får förkortas, medan den andra är svårare och dyrare att genomföra i nuläget.

Ett sätt är att sätta sensorer i stolpen och mäta nedhäng med GPS-teknik, en annan att mäta spännkrafter och sedan räkna ut nedhängningen. Här pågår forskning och testinstallationer.²⁵ Generellt gäller att avbrott på grund av överslag i ledningar hanteras bättre på stam- och regionnätetsnivå än på lokalnätetsnivå därför att man på den sistnämnda nivån har små möjligheter att leda om strömmen.

Jordkabelsystem kan också påverkas av värme vilket kan leda till att isolationsmaterialet blir så mjukt att ledaren i kabeln sjunker ner i materialet och att man får genomslag. Detta har hänt och accentueras av varmt och torrt väder där t.ex. lera inte längre kyler utan tvärtom håller kvar värmen som alstras i kabeln. Hela eller delar av kabeln måste då bytas ut.²⁶

Vid långvarig värme och uttorkning av marken så kan grundvattnet sjunka och den torra leran bli som en termos runt kabeln. För att undvika detta problem, som accentueras av förläggning av ledningar i rör, kan man t.ex. installera

²⁴ Mats Sjöström, Skåne Energi, 15 november 2013

²⁵ Per Norberg, Vattenfall eldistribution AB, 15 november 2013

²⁶ Sven Jansson, Elforsk, 14 november och 2 december 2013

värmesensorer på ledningarna, framför allt i regionnäten där man kan styra om laster.²⁷ Detta görs dock inte i Sverige för närvarande.

Transformatorer

Transformatorer lyfts fram av samtliga intervjuade som en känslig komponent vid en värmebölja. Störst anses risken vara för de transformatorer som inte har forcerad kylning, det vill säga fläktar som kan kyla den oljeinkapslade transformatorn. Större transformatorer har enligt de intervjuade ofta/alltid forcerad kylning medan mindre antingen kan vara oljekyllda utan fläkt alternativt endast luftkyllda (torrisolerade).

Stora transformatorer har forcerad kylning som startar då oljetemperaturen når över 70 °C där en eller flera fläktar drar igång. Stiger oljetemperaturen ytterligare, till mellan 90 och 100 °C beroende på tillverkare, larmas driftcentralen som har möjlighet att reglera lasten.²⁸ Ytterligare ett sätt att hålla temperaturen nere i en transformator är att se över förlusterna genom att välja transformatorer med hög verkningsgrad.²⁹ Man har ännu så länge inte haft några stora problem med att kyla transformatorer i Sverige då det har varit varmt ute men kan tänka sig att problem uppstår om fläktarna inte fungerar.

ABB, som konstruerar transformatorer tar fram den kylning som behövs i olika klimat efter beställning från kund och internationella standarder och anser att de transformatorer man har levererat i Sverige skulle klara sin kylning med en omgivningstemperatur på 40 °C.³⁰ Gert-Ove Persson från Svenska Kraftnät (14 november 2013) gör en delvis annan bedömning och anser att man kan få problem om utomhustemperaturen överstiger 32-35 °C och att man måste dra ned effekten.

Det kan tilläggas att det finns ett starkt incitament för att hålla temperaturen på oljan på en förhållandevis låg nivå eftersom en transformator åldras snabbt när temperaturen på oljan överstiger 98 °C.³¹ Stora transformatorer kan kosta tiotals miljoner kronor och ha en förväntad livstid på 40-50 år vilket innebär att ägarna är mycket motiverade att sköta transformatorn på ett optimalt sätt. När sådana transformatorer köps in finns köparna på plats när transformatorn testas för att uppfylla standarder, t.ex. IEC 60076.³²

Mindre transformatorer på lokalnäten kan alltså vara både olje- och luftkyllda (d.v.s. torrisolerade) och de oljekyllda har inte alltid forcerad kylning. De är också väldigt många, bara i Skåne Energis lokalnät finns 600 distributionstransformatorer.³³ Hur pass väl sådana transformatorer kyls vid en värmebölja beror på hur det är placerade. Sitter de högst upp i en stolpe kan de lätt ventileras men de kan också vara inbyggda i skåp eller byggnader där ventilationen är sämre. Om sådana transformatorer blir överhettade och man inte vill att de

²⁷ Per Norberg, Vattenfall eldistribution AB, 15 november 2013.

²⁸ Gert-Ove Persson, Svenska Kraftnät, 14 november 2013.

²⁹ Bo Silversten, ABB, 14 november 2013.

³⁰ Bo Silversten, ABB, 14 november 2013.

³¹ Per Norberg, Vattenfall eldistribution, 15 november 2013.

³² Svenska Kraftnät, 14 november 2013.

³³ Mats Sjöström, Skåne Energi 15 november 2013.

slår av kan man öppna dörrar manuellt eller eventuellt sätta in fläktar. Ingen av de intervjuade hade dock hört talas om eller varit med om att man har varit tvungen att vidta sådana åtgärder under varma dagar.

En av de intervjuade nämner att en rad producenter av transformatorer numera konkurrerar med låga priser samtidigt som råvarupriserna stiger och att man i dessa fall bör vara uppmärksam på kvaliteten och uppfyllandet av nödvändiga standarder.³⁴ Som vi nämnt ovan är beställarna vid inköp av stora transformatorer med under testningen (som sker hos oberoende part) men när de däremot köper in mindre kostsam utrustning nöjer man sig med ett testprotokoll. Kanske finns det anledning att granska dessa protokoll extra noggrant om de kommer från leverantörer man tidigare inte har beställt ifrån?

Isolatorer och brytare

Isolatorer och brytare nämns i ett par intervjuer som sårbara för värme. Isolatorer är idag gjorda antingen av porslin eller av silikonmaterial, och uppfattningen är att silikonmaterialet är mer hållbart. Värme frestar på materialet som kan spricka men detta beror mycket på kvaliteten. Ett exempel på detta är isolatorer av porslin från Kina som beställdes till Sverige varav 60 % sprack efter kort tid, varför det finns anledning att kontrollera materialet i isolatorer och brytare noggrannare.³⁵

Underhåll

Underhållsarbetet av elnätet, som nu framför allt utförs under sommaren då belastningen är låg, har också diskuterats i samband med en eventuell värmebölja. Om efterfrågan på el ökar under sommaren till följd av kylbehov, kan rutinerna för underhållsarbete behöva omprövas. Underhållsarbetet skulle i så fall i större utsträckning behöva utföras under höst och vår då belastningen kan förväntas bli lägre. I detta underhållsarbete ingår också att noggrant följa kundernas eluttag när det är varmt.

Frågan om tillgången till underhållspersonal under sommaren har också berörts och verkar skilja sig åt beroende på hur personalen är knuten till elbolaget. Skåne Energi har t.ex. egen personal som kan kallas in från semestern ifall det behövs³⁶ medan Svenska Kraftnät använder olika entreprenörer för underhåll och uppskattar att det kan ta upp till ett dygn att få personal på plats som kan röja ledningsgator i utsatta områden.³⁷

³⁴ Bo Silversten, ABB, 14 november 2013.

³⁵ Sven Jansson, Elforsk, 14 november 2013.

³⁶ Mats Sjöström, Skåne Energi 15 november 2013.

³⁷ Gert-Ove Persson, Svenska Kraftnät, 14 november 2013.

5. Konsekvenser av tidigare värmeböljor på järnvägstransporter

I detta avsnitt ges en kort beskrivning av konsekvenserna på järnvägstransporter under de två värmeböljor som drabbade Europa 2003 och sydöstra Australien 2009. I nästa avsnitt diskuteras vilka konsekvenser en värmebölja kan få på järnvägssektorn i Sverige.

Under värmeböljan i Europa 2003 påverkades järnvägstrafiken på flera sätt och i flera länder. I Frankrike drabbades resenärer av värmen i överhettade vagnar och landets största tågoperatör SNCF fick omfattande störningar i trafiken. Solkurvor ledde till frekventa avbrott i trafiken och under den tidsperiod som värmeböljan pågick reducerades andelen tåg som kunde avgå eller nå sin destination på utsatt tid från 85-87 % för samma period de två åren innan värmeböljan (2001 och 2002) till 77 % .. Man har uppskattat att detta ledde till direkta ekonomiska förluster på mellan en och tre miljoner euros till följd av brutna överenskommelser om leveranstider. Till dessa kommer också kostnader för indirekta effekter (Cochran, 2009).

I England ledde värmeböljan 2003 också till omfattande störningar i järnvägstrafiken. Även här var solkurvorna en av de största orsakerna bakom kapacitetsminskningen i trafiken. I delar av järnvägsnätet uppges den maximala toleransen för omgivande temperaturer vara under eller lika med 36 °C. I England syns en tydlig koppling mellan historiskt varma somrar och antalet rapporterade solkurvor. Framför allt är denna koppling tydlig vid de allra varmaste somrarna som på senare tid i England har inträffat 1976, 1995 och 2003. Risken för solkurvor påverkas också av faktorer som spårets kvalitet och det sätt som underhållet sköts på. Under värmeböljan 2003 rapporterades 137 solkurvor in av Network Rail som förvaltar järnvägsinfrastrukturen i England. När risken ökar för att solkurvor ska bildas på en specifik plats så reduceras hastigheten på passerade tåg. Kostnaderna för de förseningar som uppstod under värmeböljan har uppskattats i 2004 års penningvärde till cirka 2,2 miljoner pund (Hunt m fl, 2006).

Andra effekter av värmen i England var ett ökat antal bränder längs med spåren. Dessa är inte direkt kopplade till påverkan på tekniska system men innebär en risk för funktionen av systemet. Under perioden 2003 till 2004 ökade antalet rapporterade bränder längs spåren med 42 % jämfört med året innan. Det är dock svårt att uttala sig om hur tydlig kopplingen är till värmeböljan, det kan finnas andra orsaker till det ökade antalet bränder (Hunt m fl, 2006).

När det gäller signalsystemet har man inte i lika stor utsträckning lyckats beskriva konsekvenser och kostnader för dem. Potentiellt mest utsatta är de

komponenter som är lokaliserade i "signal centers". De är utrustade med kylning som uppges kunna fungera utan störningar upp till omgivande temperaturer på runt 40 °C. I en studie som uppskattade kostnader för värmeböljan 2003 lyckades man inte hitta några inträffade incidenter med signalsystemet. Man hittade inte heller några incidenter med överhettade diesellok som i andra studier har utpekats som en potentiell konsekvens till följd av höga omgivande temperaturer (Hunt m fl, 2006).

I Australien 2009 har järnvägen pekats ut som ett av de områden som påverkades mest av värmeböljan. Solkurvorna ges ett stort utrymme när effekterna av värmeböljan summeras (McEvoy m fl, 2011). Det faktum att man på senare tid allt mer gått över till spår med svetsade skarvar uppges vara en bidragande orsak till det stora antalet solkurvor (McEvoy m fl, 2011). Den äldre typen av räler gav mer utrymme för expansion men krävde också ett mer omfattande underhåll under normala förhållanden.

Under värmeböljan 2009 rapporterades 29 incidenter med solkurvor i området i och kring Melbourne som innebar antingen ett totalt stopp i trafiken eller förseningar. Att åtgärda räls som har blivit utsatt för värme är en del av normala underhållsprocedurer i Australien. Normalt inträffar också flera solkurvor av mindre omfattning, vid dessa kan sidoflyttningar på 25 mm över en sträcka på 300 meter anses vara normala. Vid en sådan mindre påverkan behöver inte rälsen bli försvagad och reparationen är mindre omfattande. Både en misstänkt, eller konstaterad mindre solkurva, samt reparationsarbetet vid en inträffad solkurva påverkar kapaciteten i systemet (McEvoy m fl, 2011).

Under de tre varmaste dagarna var i genomsnitt 76 % av all tågtrafik igång. Under den tredje av dessa dagar kunde bara 64 % av den planerade tågtrafiken genomföras. En bidragande orsak till det stora bortfallet av trafik under den tredje dagen var störningarna i elförsörjningen till följd av värmeböljan. Problem med elförsörjningen påverkade också signalsystemet. Det framgår att problemen med elförsörjningen varit problematiska för driften av järnvägen. Som förslag på åtgärder finns exempelvis portabla elaggregat för att kunna försörja signalsystemet med el eller att undvika inblandning av lokala elnät i elförsörjningen till järnvägen (NCCARF, 2010).

Vid sidan av den direkta påverkan på järnvägen av värmen och den delvis indirekta påverkan av störningar i elförsörjningen så var kylningen av vagnar för passagerare det största bekymret. Flera tågavgångar ställdes in till följd av havererade kylanläggningar ombord på tågen. På hälften av tågen, som var av en äldre typ, var inte kylningen dimensionerad för att klara en omgivande temperatur på mer än 34,5 °C, de resterade och modernare tågen var dimensionerade för att kunna fungera utan störningar upp till 42 °C (McEvoy m fl, 2011).

Under värmeböljan kunde man konstatera att man inte hade några inrapporterade problem med nedhängande ledningar på samma sätt som man

skulle kunna förvänta sig. Dock rapporterades dessa problem vett år senare vid en period med hög värme (McEvoy m fl, 2011).

6. Möjliga konsekvenser på den svenska järnvägstrafiken

Det har i tidigare studier framkommit att perioder med hög värme kan påverka funktionen hos det svenska järnvägstransportsystemet (Lindgren m fl, 2009; Carlsson-Kanyama m fl, 2010; Mossberg Sonnek m fl, 2013). Studierna av värmeböljorna i Europa 2003 och Australien 2009 visade också att järnvägen även i dessa länder har drabbats av störningar på grund av hög värme under en lång period.

Trafikverket ansvarar för långsiktig planering av transportsystemet för vägtrafik, järnvägstrafik, sjöfart och luftfart samt för byggande, drift och underhåll av statliga vägar och järnvägar. Sveriges järnvägsnät har en längd på drygt 16 500 spårkilometer. Av dessa är Trafikverket infrastrukturförvaltare för drygt 14 700 spårkilometer järnväg (Trafikverket, 2012).

Av långväga godstransporter i Sverige³⁸ står järnvägens transportarbete, mätt i tonkilometer, för cirka en fjärdedel (21 miljarder tonkilometer år 2012). Av långväga persontransporter, där transporter med personbil dominerar stort, utgör järnvägstransporterna cirka 16 % av det totala transportarbetet (6,2 miljarder personkilometer år 2012). Kapacitetsutnyttjandet i det svenska järnvägsnätet är under vissa perioder och på vissa platser mycket högt. I storstadsområdena ligger utnyttjandet av järnvägen under ett par timmar nästan varje dygn nära den maximala möjliga kapaciteten. Det gör att järnvägen under dessa förhållanden är mycket känslig för störningar (Trafikverket, 2012).

För att få en bild av hur värme påverkar eller skulle kunna påverka järnvägstransporterna i Sverige har ett antal aktörer intervjuats utifrån den intervjuguide som bifogas i bilaga 1.

Trafikverket är med sitt ansvar för förvaltningen och utvecklingen av järnvägen i detta sammanhang den viktigaste aktören. SJ AB respektive godstransport- och logistikföretaget Green Cargo AB är de två största aktörerna inom järnvägstransporter. SJ AB och Green Cargo AB har båda sitt ursprung i det statliga affärsverket Statens Järnvägar som avvecklades 1 januari 2001.

Följande aktörer har intervjuats om järnvägstransportsystemets känslighet för värme. De olika aktörerna ansvarar för olika verksamhetsområden varför de intervjuer och samtal som har förts utifrån intervjuguiden till vissa delar har haft olika inriktning.

- Trafikverket (trafiksäkerhet)

³⁸ Till det långväga transportarbetet räknas samtliga järnvägs- och sjöfartstransporter samt lastbilstransporter över 10 mil (Trafikverket, 2012).

- Trafikverket (teknik, signalsystem)
- Trafikverket (teknik, IT/tele/datakommunikation)
- SJ AB (trafiksäkerhet)
- Green Cargo AB (trafiksäkerhet)

Tekniska komponenter i järnvägssystemet

Räler och växlar

När det gäller banan utgör solkurvor den största risken. De kan ge upphov till en allvarlig störning av funktionen som påtagligt ökar risken för en urspårning av passerande tåg. Enligt Trafikverket låg antalet ”konstaterade solkurvor”³⁹ under perioden 2008 till 2011 i spannet mellan 51 och 88 per år.⁴⁰ När rälen⁴¹ expanderar av värmen kan den till en viss gräns göra det utan att förflyttas i sidled. Funktionen av järnvägstransportsystemet påverkas så fort expansionen av rälen blir större än den tolerans som är inbyggd i systemet.

Det första som händer när rälen utvidgas är att isolerskarvar mellan räler belastas och riskerar att tryckas sönder. Isolerskarven har en viktig funktion i signalsystemet. Om den går sönder är rälerna inte längre isolerade från varandra och då uppfattar signalsystemet, och därmed trafikledningen, det som att det står ett tåg på banan. För att kunna korrigera detta måste man på plats inspektera om så är fallet.⁴²

En kraftig expansion av rälen innebär att den förflyttas i sidled, detta ger upphov till krökningar av rälen. Om det inträffar blir skadorna på banan omfattande och det kan vara tids- och resurskrävande att återställa banan. Både expansion av rälen som leder till att isolerskarven trycks sönder och den mer allvarliga solkurvan leder till stopp i trafiken. Redan vid en identifierad ökad risk för solkurvor på ett visst avsnitt reduceras hastigheten i trafiken på detta avsnitt.

Risken för solkurvor ökar om det under perioden innan värmeböljan har genomförts vissa typer av underhållsarbeten på banan. Banan behöver sätta sig efter justeringar som kan påverka rälen och därför låter man ett antal tåg passera med reducerad hastighet innan banan är klar för normal drift. Problemen med solkurvor kan uppstå redan vid temperaturer på 25 °C om perioden med dessa temperaturer är lång. Ju högre temperaturer desto kortare

³⁹ För att klassas som en ”konstaterad solkurva” krävs en förskjutning på minst 25 mm på en sträcka av 10 m. Statistiken visar att cirka 50 % av de händelser som rapporteras som ”misstänkt solkurva” verkligen är en ”konstaterad solkurva. Resterande 50 % är vanligtvis dåligt spårsläge och felaktig rapportering.

⁴⁰ [http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Jarnvag/Arstidsrelaterat-underhall/Solkurvor/Statistik-solkurvor-2008-2010/\(hämtad 2013-11-10\)](http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Jarnvag/Arstidsrelaterat-underhall/Solkurvor/Statistik-solkurvor-2008-2010/(hämtad 2013-11-10))

⁴¹ Räl är en benämning på de skenor som spårfordon rullar på, en skena kallas räl och i plural räler.

⁴² Lars Lindqvist, Trafikverket, 4 december 2013

tid behövs för att rälen ska påverkas. Likaså ökar risken för solkurvor vid snabba skiftningar i temperatur.⁴³

Solkurvor inträffar varje år i Sverige, dock i varierande grad på olika typer av banor. Solkurvor är sedan länge ett känt fenomen och Trafikverket har publicerat en rad dokument om riskerna med solkurvor och hur man kan minska riskerna för att de ska uppträda och i förlängningen leda till allvarliga incidenter.⁴⁴

Växlarna påverkas också av värme. Växlar består vanligen av två rörliga växeltungor, dessa måste inta en mycket exakt position för att växeln ska fungera. Vid höga temperaturer kan metalldelar i växeln påverkas så att växeln inte går i sitt läge. Innan tågtrafik kan passera måste dessa svalna så att växeln åter kan gå i sitt läge.⁴⁵

Kontaktledningarna och omformarstationer

En annan del av banan som påverkas av värme är kontaktledningarna. Efter återkommande perioder med hög värme kan dessa förlängas och de motvikter som finns i varje ände av ledningssektion tar i marken. En expansion av kontaktledningarna i det läget innebär att ledningen till följd av expansionen inte blir positionerad på rätt sätt ovanför spåret. Vikterna har som funktion att göra att ledningen hänger på så jämn höjd som möjligt. Konsekvensen av en expansion blir en betydande risk att ledningen trasslar in sig i strömvadledaren på passerande lok. Detta leder till ett kontaktledningshaveri.⁴⁶

Styrutrustning för elförsörjningen uppges vara mycket känslig för värme. Det finns två olika typer av matningar av el till järnvägen. Dels ”manöverel” för drift av tågen (kontaktledningarna), dels elförsörjningen till signalsystemet och övrig teknisk utrustning. Den senare benämns ”hjälpkraft”. Hur dessa två system är kopplade till elnätet (stamnät, regionnät och lokalnät) varierar mellan olika områden. Det förekommer exempelvis att driften är kopplad till en större leverantör av el via något av de större näten medan signalsystemet drivs av ett kommunalt nät. Det finns olika typer av redundans i elförsörjningen men det ser också olika ut i olika områden.⁴⁷

Omformarstationer används för att omvandla elen i elnätet till det separata elnät som används för driften av järnvägen. Omformarstationerna är även dessa känsliga för värme. I intervjuerna uppger man att risken för ett totalt bortfall av en omformarstation till följd av värme är relativt liten, men att risken finns och att det har inträffat. Långa perioder med hög värme skapar effektförluster. De äldre typerna av omformarstationer är placerade i berggrum och där är problemet inte lika påtagligt. Potentiellt skulle de kunna påverkas eftersom de är luftkylda och tar luften utifrån. Alla mer moderna omformarstationer är placerade i byggnader utomhus. Byggnaderna är exponerade för

⁴³ Krister Andreassen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

⁴⁴ Krister Andreassen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

⁴⁵ Lars Lindqvist, Trafikverket, 4 december 2013

⁴⁶ Krister Andreassen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

⁴⁷ Krister Andreassen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

värme och dessa omformarstationer är beroende av fungerande kylanläggningar.⁴⁸

Signalsystemet

Signalsystemet är en del av järnvägens säkerhetssystem. Fel får inte förekomma i signalsystemet och därför påverkar också störningar i systemet omgående trafiken. Förutom att expansionen av rälen kan skada den isolerskarv som utgör en komponent i signalsystemet så är det framför allt olika typer av elektriska styrutrustningar som är känsliga för värme.

I mindre teknikhus eller så kallade "kiosker" som finns placerade längs med banan, i genomsnitt en på varje två kilometers sektion, samlas elektronisk utrustning som hanterar signalsystemet. Om dessa är kylda med aktiva kylsystem eller ej varierar över landet. Generellt har de inte byggts med annat än luftkylning vilken innebär att omgivningstemperaturen kan begränsa möjligheterna att kyla dessa utrymmen. I de fall man genom erfarenhet har sett att den nuvarande kylningen inte räcker har man installerat kylanläggningar.

Man har idag problem med att hög värme skadar elektronik i teknikhusen. Om man får problem med kylningen försöker man att öppna och vädra ut värmen på de platser som inte har kylning. Att utföra reparationer i teknikhusen kräver personal som kan den tekniska utrustningen. Det finns en viss begränsad mängd personal för reparationer och underhåll av signalsystemet.⁴⁹

Reservkraft

Ett område som också har visat sig vara känsligt är den backup av elförsörjningen som finns på flera ställen i systemet. Dessa så kallade UPS:er⁵⁰ sitter exempelvis vid alla driftledningscentraler men även i teknikhusen längre ut i systemet, bland annat för att skapa redundans i elförsörjningen av signalsystemet. Idag klarar dessa reservkraftaggregat som är baserade på batterier ett avbrott på cirka 30-60 minuter.

När reservaggregaten inte används laddas batterierna. Detta alstrar värme och därför behöver systemen konstant kylning. Här har man haft problem med att kylningen inte har fungerat som den ska när det varit varmt. Det innebär att batterierna slits betydligt fortare vilket ger en ökad risk för att de inte fungerar som det är tänkt när de ska användas. För att backupen ska fungera optimalt är kylningen viktig både under laddningen av batterierna och när reservkraften används.⁵¹

IT och data/telekommunikation

Enligt de intervjuade personerna har man inte upplevt några allvarliga incidenter inom IT och data/telekommunikationer till följd av perioder med

⁴⁸ Krister Andreassen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

⁴⁹ Lars Lindqvist, Trafikverket, 4 december 2013

⁵⁰ En teknisk utrustning för avbrottsfri kraftförsörjning, eng. "Uninterruptible power supply" (UPS).

⁵¹ Krister Andreassen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

hög värme. Potentiellt skulle det dock kunna inträffa eftersom IT-utrustningen är i ständigt behov av kylning. En optimal temperatur för utrustningen uppges vara runt 18-20 °C. Ju längre ut i systemet man kommer, det vill säga längs med banan och vid bangårdarna desto känsligare uppges anläggningen vara för störningar. Detta eftersom konsekvenserna av en störning skulle vara mer omfattande om den drabbade de mer centrala funktionerna, som exempelvis trafikledningscentraler finns här en högre förmåga att motstå störningar.

Konsekvenserna av en störning långt ute i systemet uppges vara betydligt mindre eftersom den då skulle drabba en mer begränsad del av systemet. Det finns ett tiotal större datahallar i systemet och ute längs banan finns ett tusental mindre anläggningar som hanterar data/telekommunikation. Dessa mindre enheter kan bli utsatta för större exponering vid en värmebölja och därmed också en ökad risk för haverier. Data/telekommunikation används för att fjärrstyra en rad delar av järnvägstransportsystemet.

Det man enligt de intervjuade personerna har haft problem med är skärmar på stationer. Då gäller det enstaka bildskärmar som har slutat fungera på grund av överhettning⁵². En orsak som anges till varför IT och data/telekommunikationer är mindre drabbade än exempelvis signalsystemet är att denna utrustning redan från början har försetts med kylning eftersom det krävs för att systemen ska fungera. När det gäller styrutrustning av äldre typ har behovet av kylning i många fall upptäckts först efteråt. Stora delar av signalsystemet är betydligt äldre än den relativt moderna teknik som används inom IT- och data/telekommunikation.⁵³

Direkta konsekvenser

Transporter med tåg kommer troligtvis inte att kunna genomföras som planerat under perioder med hög värme. Det finns risk att värmen överskrider toleransen hos tekniska komponenter i systemet eller kapaciteten hos den befintliga kylningen. Flera komponenter i systemet saknar aktiv kylning med kylaggregat och förlitar sig på den kylning som kan uppnås genom ventilation med utomhusluft. En del tekniska komponenter av betydelse för funktionen hos exempelvis signalsystemet är placerade i byggnader eller skåp som är exponerade för solljus och värme. Likaså kan större omformarstationer för el också vara utsatta för hög exponering av värme.

Den konsekvens som är tydligast och förknippad med minst osäkerhet är att kapaciteten i järnvägssystemet vid en situation med långvarig hög värme kommer att reduceras i flera avseenden. Det kan ske exempelvis genom minskad framkomlighet, kösituationer och reducerade hastigheter. Det är en konsekvens som nämns av flera av de intervjuade. Framför allt innebär en ökad risk för solkurvor och störningar i signalsystem omedelbart reducerade hastigheter.

⁵² Torbjörn Jämte, Trafikverket, 3 december 2013

⁵³ Lars Lindqvist, Trafikverket, 4 december 2013

Flera av felen som kan tänkas uppstå skulle kunna leda till ett totalt stopp i trafiken. Inträffade solkurvor och nedrivna kontaktledningar⁵⁴ kräver ett omfattande reparationsarbete. Likaså måste växlar som har påverkats av värmen återgå till normalläge innan trafiken åter kan passera.

Ett avbrott i elförsörjningen för driften av tågen skulle innebära ett totalt stopp i trafiken. Ett bortfall av en omformarstation behöver inte innebära ett totalt stopp men en påtaglig reducering av trafiken. Konsekvenserna ser olika ut i olika delar av landet. Runt Stockholm finns exempelvis tre omformarstationer som delvis kan täcka upp för varandra. Med reducerad tillgång till el måste man prioritera bland trafiken. Tunga godståg kan skapa problem eftersom de kräver en stor effekt vid start, det kanske inte heller är möjligt att starta flera tåg samtidigt. När trafiken måste köras på gränsen till vad som är möjligt ökar också risken för andra fel i systemet.⁵⁵

Indirekta effekter som brandbekämpning längs banan och pågående reparationsarbeten kommer också att påverka möjligheterna att köra trafiken i normal utsträckning. Vissa delar av elförsörjningen för järnvägsnätet är anslutna till regionala eller lokala elnät. Det gör järnvägen sårbar för lokala händelser som påverkar elförsörjningen. Vid ett längre stopp i elförsörjningen över ett stort område riskerar flera tåg att bli stående längs banan. Om ett större område drabbas krävs också mer resurser för att avhjälpa de fel som uppstår.

Tekniska komponenter i fordon

Fordonen i sig påverkas enligt de intervjuade väldigt lite av värmen. Loken behöver kylning för att fungera men att det skulle bli stora problem på grund av problem med loken under en värmebölja är inte troligt.⁵⁶ Enstaka äldre lok skulle kunna påverkas eftersom marginalerna för kylsystemen ser olika ut för olika typer av lok.⁵⁷

En konsekvens av värme i kombination med torka är en ökad risk för bränder på grund av gnistbildning från äldre typer av bromsar. Dessa typer av bromsar (blockbromsar) sitter nästan uteslutande på godståg. Bromsar av samma typ finns också på äldre resandetåg men den största trafikmängden görs med modernare tåg. Flera bränder kan uppstå längs banan innan det upptäcks. Lokföraren har inte möjlighet att uppfatta att bränder startar vid sidan av

⁵⁴ Till följd av att ledningen expanderar i värmen, se avsnittet om kontaktledningar och omformarstationer.

⁵⁵ Krister Andreasen-Hildingsson, Trafikverket, 14 november 2013

⁵⁶ Jan Persson, SJ AB, 26 november 2013 och Lars-Åke Hedman, Green Cargo AB, 26 november 2013

⁵⁷ Lars-Åke Hedman, Green Cargo AB, 26 november 2013

spåret, möjligtvis kan man nattetid se att det slår ut gnistor längs med sidan på tåget. Bränder längs spåret påverkar möjligheterna att använda banan.⁵⁸

En trolig påverkan, baserat på intervjusvar kring andra kylsystem, är att kylutrustningen ombord på tågen vid perioder med värme behöver arbeta mer och därmed också slits mer. Effekterna av värme, både långvariga perioder med hög värme och mer tillfälliga toppar i temperaturer, kan därför medföra att ett kylsystem går sönder vid en annan tidpunkt. Speciellt skulle det kunna vara vid en efterföljande period med hög belastning. Det är enligt intervjuresultaten i denna studie oklart om de kylsystem som används i vagnarna i de modernare tågen (X2000, X3000) är dimensionerade för att kunna klara en period med långvarig hög värme. I de äldre tågtyperna finns ingen luftkonditionering. Fönstren går här att öppna vilket kan förhindra att temperaturen stiger alltför snabbt.⁵⁹

En potentiellt allvarlig konsekvens av ett stopp i trafiken eller trasiga kylanläggningar ombord på tågen under en pågående värmebölja är de moderna tågagnarnas beroende av fungerande kylning i varje vagn. Dessa tågtyper är trycktäta vilket innebär att fönstern inte går att öppna. Temperaturen ombord på ett sådant tåg kan stiga snabbt om den omgivande temperaturen är hög i kombination med att tåget har stannat i ett för solen exponerat läge. Vid en sådan situation måste tåget evakueras. En evakuering kan ske först när man sett till att säkerheten runt tåget är tillgodosedd. Evakuering av ett tåg som exempelvis står stilla längs ett dubbelspår där trafiken fortfarande fungerar på angränsade spår kan därför ta längre tid att genomföra.⁶⁰

⁵⁸ Lars-Åke Hedman, Green Cargo AB, 26 november 2013

⁵⁹ Jan Persson, SJ AB, 26 november 2013

⁶⁰ Jan Persson, SJ AB, 26 november 2013

7. Diskussion

Studiens första del innehöll litteraturstudier av värmeböljorna i södra Europa 2003 och i sydöstra Australien 2009. I Europa var det främst myndigheter i Frankrike och Storbritannien som har dokumenterat konsekvenserna av värmen på olika samhällssektorer. Med tanke på att värmeböljans centrum låg i södra Frankrike och att länderna öster om Frankrike var värre drabbade än Storbritannien, så borde det finnas fler rapporter om konsekvenserna än vad som refereras till i den här rapporten. För att hitta dem skulle man behöva kontakta myndigheter i respektive land, något som har legat utanför ramen för den här studien.

Av den litteratur som har gått igenom beskriver de allra flesta rapporter och artiklar konsekvenserna övergripande. Det har varit svårt att hitta information om vilka enskilda tekniska komponenter som har gått sönder och på vilket sätt. Mycket av litteraturen redovisar också möjliga sårbarheter i samband med en värmebölja, inte faktiska incidenter som har skett.

Litteraturstudiens syfte var att ringa in två samhällsviktiga verksamhetsområden som kan förväntas vara sårbara för värme, för att sedan fördjupa sig inom vad som kan påverkas av värmen inom dessa områden. Utifrån resultatet valdes ett antal organisationer inom elförsörjning och järnvägstransporter som ansågs kunna svara på hur de svenska förhållandena ser ut. Intervjuguiden baserades till del på resultaten från litteraturstudien, men i efterhand kan konstateras att intervjupersonerna i de allra flesta fall själva lyfte upp de problem som har identifierats i andra länder. Den största vinsten med litteraturstudien var därmed att identifiera vilka verksamheter som skulle studeras och vilka organisationer som skulle intervjuas.

8. Slutsatser

Inom elförsörjningen kan konstateras att Sverige förmodligen inte kommer att råka ut för att efterfrågan på el överstiger kapaciteten för elproduktionen, vilket hände i både Frankrike och Australien, och vilket även har hänt vid ett flertal tillfällen i USA. En ökad efterfrågan på el i Sverige under en värmebölja borde inte vara ett problem sett utifrån dagens elbalans. Eftersom vattenkraften normalt inte går för fullt av ekonomiska skäl under sommaren, men dammarna är välfyllda, så borde en ökad efterfrågan på el kunna mötas av en ökad produktion av vattenkraft.

När det gäller kylningen av kärnkraftverk ligger det däremot närmare till hands att tro att även svenska kärnkraftverk i kan behöva stängas ner på grund av att havsvattnet som kyler kärnkraftverkens kondensatorer blir för varmt. Redan idag har intagstemperaturen för kylvattnet legat nära de gränser då reaktorerna av säkerhetsskäl måste stängas. Att en eller flera reaktorer ställs av under en värmebölja behöver dock inte innebära att elproduktionen inte går att upprätthålla. För att i framtiden minska risken för att kylvattnet blir för varmt är det möjligt att bygga om ytvattenintag så att de istället tar in djupvatten. Andra tekniska möjligheter är att öka storleken på kondensationsbassängerna och/eller att öka vattenflödet till dem.

Det allvarligaste hotet för elförsörjningen är distributionen av el. Ett flertal tekniska komponenter, som exempelvis ledningar, transformatorer, isolatorer och brytare, kan påverkas av värmen och resultera i reduktion av, eller avbrott i, eldistributionen. De regionala och lokala elnäten ansågs vara mest sårbara. I stamnätet finns en större redundans. Det kan finnas ett värde i att se över komponenter och system i eldistributionen med avseende på om det går att minska sårbarheten, exempelvis genom bättre kylning, och ifall det går att öka redundansen.

Under intervjuerna framkom ett antal åtgärder för att minska elförsörjningssystemets sårbarhet mot värme. Risken för att nedhängande ledningar ställer till problem när de utvidgas av värme kan minskas genom att mer frekvent röja vegetationen längs ledningsgatorna. En annan åtgärd är att installera mätutrustning som mäter nedhänget hos ledningarna. Man kan då få en indikation i tid om något behöver åtgärdas. Även temperaturen i jordkabelledningar skulle kunna övervakas med hjälp av sensorer för att vid behov styra om elen innan ledningarna blir för varma.

Värmekänsligheten hos transformatorer kan åtgärdas genom att installera kylutrustning om sådan inte redan finns eller genom att förbättra ventilationen. Vid nyinköp kan man välja transformatorer med en högre verkningsgrad och även kontrollera att de verkligen klarar av den värmetålighet som utlovas. Likaså kan man vid inköp av isolatorer och brytare behöva försäkra sig om att materialet, exempelvis porslin, är av tillräcklig kvalitet eftersom den visade sig bristfälligt vid några tillfällen.

Resultaten från järnvägstransporterna liknar till del dem från elförsörjningen vad gäller tekniska komponenter som är beroende av kylning. Elektrisk styr-

utrustning för signalsystem är ofta placerade i mindre teknikhus längs banan. Dessa kan vara utsatta för sol och värme och sakna kylning. Vid en värmebölja måste elektroniken kunna hållas kyld och om kylutrustning saknas så måste teknikhusen vädras ut manuellt, något som kräver personal. Omformarstationer är också ofta placerade i byggnader utomhus, och även om dessa är kylda så är de sårbara ifall kylanläggningarna går sönder eller inte är dimensionerade för tillräckligt höga temperaturer.

En ytterligare komponent som kan skapa problem är reservkraftaggregat som är beroende av att kunna ladda sina batterier. Detta skapar värme som måste forslas bort av ett kylaggregat. IT och data/telekommunikation är också beroende av kylning och även där skulle det kunna uppstå problem. I dagsläget har det dock inte inträffat några allvarigare incidenter på IT-utrustning på grund av värme.

Kontaktledningarna kan, liksom elledningarna, utvidgas av värme. I värsta fall kan det leda till att en ledning expanderar och trasslar in sig i strömvärdaren på ett passerande lok. Under varma perioder kan man behöva inspektera ledningarna för att kunna åtgärda eventuella problem.

Metallen i räler expanderar också i värmen vilket kan leda till solkurvor på rälsen. Det medför en ökad risk för att passerande tåg spårar ur, vilket i värsta fall kan leda till mycket allvarliga konsekvenser. Trafikverket känner väl till hur solkurvor kan uppstå och förebyggas, men kan behöva ta i beaktande att värme kan bli ett större problem framöver i och med klimatförändringarna.

Några av de intervjuade lyfter kopplingen mellan hur ofta underhåll och kontroller görs av den utrustning som påverkas av värme. Om perioder med hög värme eller enstaka toppar i temperaturen kan påverka livslängden hos komponenter eller utrustningen, så bör intervallen för underhåll och kontroller kortas ner då det har förekommit varma perioder. Det är utifrån resultaten av intervjuerna oklart på vilket sätt underhållet sker idag, men det framgår att det är i konflikt med kostnadsbesparingar.

Intervjuerna visar att värme inte tas som ett allvarligt hot inom elförsörjningen. Inom järnvägen är man däremot medveten om att värme kan innebära ett problem för funktionen, men det är utifrån dagens situation och ingen hänsyn tas till att ett framtida klimat med mer värme kan förstärka problemen. Idag tas ingen hänsyn till framtida värmeböljor då kylanläggningar dimensioneras inom de två verksamhetsområden som undersökts. Dimensioneringen styrs av tidigare inträffade händelser, vilket också påverkar prioriteringen av olika åtgärder.

Referenser

- BBC 2003. Heatwave causes rail disruption.
http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/3120805.stm (2013-06-27).
- Benzie, M., Harvey, A., Burningham, K., Hodgson, N. och Siddiqi, A. 2011. Vulnerability to heat waves and droughts, case studies of adaptation to climate change in south-west England. Joseph Rowtree Foundation, www.jrf.org.uk.
- Carlsson-Kanyama, A. 2012. Värmeböljors påverkan på samhällets säkerhet. MSB publ.nr: 362.
- Carlsson-Kanyama, A., Mossberg Sonnek, K., Harriman, D. 2011. Konsekvenser av värmeböljan i juli 2010. En mediainventering för Skåne och Mälardalen. Rapport/Totalförsvarets forskningsinstitut: FOI-R-3150-SE. Stockholm.
- Carmichael, C., Bickler, G., Kovats, S., Pencheon, D., Murray, V., West, C., och Doyle, Y. 2013. Overheating and hospitals – what do we know? *Journal of Hospital Administration*, 2013, Vol. 2, No. 1.
- Cochran, I. 2009. Climate Change Vulnerability and Adaptation Possibilities for Transport Infrastructure in France. Climate Report n°18, Mines ParisTech and Mission Climat of Caisse des Dépôts.
- Combitech 2009. Energisystemets sårbarhet för klimatförändringens effekter. Energi-myndigheten, Dnr 17-08-1416.
- Ehlin, U., Borgenäs, K., Neuman, E. och Sandström, O. 2012. Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp i ett varmare klimat. Elforsk rapport nr 12:26.
- Hunt, A., Boyd, R., Taylor, T., Kovats, S., Lachowyz, K., Watkiss, P. och Horrocks, L. 2006. Report on the costs of the hot summer of 2003. Prepared for DEFRA by Metroeconomica Limited (UK).
- IPCC 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. IPCC, Special Report.
- Lindgren, J., Jonsson, D., Carlsson-Kanyama, A. 2009. Climate adaptation of railways - lessons from Sweden. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 9 (2), 164-181, June 2009.
- McEvoy, D., Ahmed, I och Mullett, J. 2011. The impact of the 2009 heat wave on Melbourne's critical infrastructure. *Local Environment* Vol. 17, No. 8, September 2012, 783–796.
- Letard, V., Flandre, M. och Lepeltier, S. 2004. La France et les Français face à la canicule: les leçons d'une crise. Rapport d'Information 195, Sénat, La France.
- McGregor, G. R., Pelling, M., Wolf T. och Gosling, S. 2007. Using science to create a better place, the social impacts of heat waves. Science Report, The Environment Agency, UK.

Met Office 2013. Case Study – Heatwave, the heatwave of 2003. Met Office, UK, <http://www.metoffice.gov.uk/education/teens/case-studies/heatwave> (2013-06-27).

Mossberg Sonnek, K., Lindgren, J. och Mobjörk, M. 2013. Hur värme påverkar samhällsviktiga sektorer; Konsekvenserna av en värmebölja i Örebro län för transporter, skydd och säkerhet samt dricksvattenförsörjning. MSB publ.nr: MSB 530.

NCCARF 2010. Impact and adaptation responses of infrastructure and communities to heatwaves: the southern Australian experience of 2009. National Climate Change Adaptation Research Facility, Cold Coast, Australia.

Nguyen M., Wang X. and Chen D. 2011. An investigation of extreme heatwave events and their effects on building and infrastructure. CSIRO Climate Adaptation Flagship Working paper No. 9. <http://www.csiro.au/resources/CAF-working-papers.html>.

NHS 2011. Heatwave plan for England. UK Government, National Health Service.

Rübelke, D och Vögele, S. 2011. Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environmental Science & policy* 14 (2011) 53-63.

Salagnac, J-L. 2007. Lessons from the 2003 heat wave: a French perspective. *Building Research Information* (2007) 35(4), 450-457.

SFS 2011:931. Förordning om planering för prioritering av samhällsviktiga elanvändare. Näringsdepartementet.

Smoyer-Tomic, K. E., Kuhn, R. och Hudson A. 2003. Heat Wave Hazards: An Overview of Heat Wave, Impacts in Canada. *Natural Hazards* 28: 463–485, 2003.

STEM 2009. Extrema väderhändelser och klimatförändringens effekter på energisystemet. Statens energi-myndighet, ER 2009:33.

Svensk energi 2013. Elåret 2012. Svensk Energi, 101 53 Stockholm.

Thom, N. 2013. Beredskap för värmebölja inom energi- och transportsektorn. En jämförelse mellan Australien, USA och Sverige. Examensarbete vid Karlstads universitet.

Trafikverket. 2013. Trafikverkets årsredovisning 2012. Rapport/Trafikverket: 2013:050.

UNEP 2004. Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. *Environment Alert Bullentin*, UNEP.

VCOSS 2013. Feeling the heat: Heatwaves and social vulnerability in Victoria. Victorian Council of Social Service, Australia.

Veibäck, E., Stenérus Dover, A-S., Fischer, J. och Lindgren, J. 2013.
Elnätsföretagens MFK-planering. FOI-R--3797--SE.

Wiegler L. 2006. New York feels the heat (power system restoring). Engineering & Technology, Vol. 1(6), 26-27

Bilaga 1: Intervjuguide

Övergripande, systemnivå

- Hur ser känsligheten för värme ut generellt i systemet?
- Vad händer vid perioder med värme?
- Vad har hänt då det varit väldigt varmt?
- Har ni haft några incidenter? (När?, Var?, Vad hände?, Hur varmt var det? Direkta konsekvenser?)

Tekniska komponenter

- Finns det speciellt utsatta komponenter?
 - På vilket sätt? / Varför?
 - Kylbehov?
 - Exponering? Läge?
 - Material?
 - Eftersatt underhåll?
 - Andra orsaker, anledningar?
 - På vilket sätt är högre temperaturer ett problem? (högre max, högre medel, högre min, längre tidsperiod etc)
 - Frågor kring ”optimal funktion” hos komponenten
 - Dimensionering?
 - Tröskelvärden?
 - Optimal temperatur för komponenten?
 - Prestanda i relation till temperatur?
- Finns flera komponenter med liknande eller annan utsatthet?
- Finns det komponenter som fungerar bättre vid (mer) värme (än normalt)?
- Åtgärder, komponentnivå?
 - Redan vidtagna
 - Tänkbara vid mer värme (högre max, högre medel, högre min, längre tidsperiod etc)

Internationella erfarenheter från inträffade händelser

- Kan liknande förlopp/orsaker/händelser som finns beskrivna från Australien/Europa inträffa i det svenska systemet?
 - Detaljer från studier av elförsörjning respektive järnvägs transporter

Övriga frågor, övergripande

- Övriga aspekter vid perioder med hög värme som påverkar systemet och de tekniska komponenterna (ex ökat behov av kylning - ökat behov av el - ökad generering av värme vid produktion/distribution)
- Hur ser ni på risken med (extrem) värme och dess direkta konsekvenser?
- Åtgärder

Bilaga 2: Konsekvenser av värme inom olika sektorer

Tabellen nedan sammanfattar de problem som värmen orsakade på tekniska system inom olika sektorer/verksamhetsområden under värmeböljorna i Europa 2003 och Australien 2009. Utöver de direkta konsekvenser på tekniska system listas även en del närliggande konsekvenser i syfte att få en bredare bild av hur sektorerna påverkades. Hur miljön och människors hälsa påverkades har dock utelämnats.

Tabellen användes som ett underlag för att välja de två sektorer, spårbunden trafik och elförsörjning, som studerades vidare.

Sektor	Europa, 2003	Australien, 2009
Elförsörjning	<ul style="list-style-type: none">• Många kärnkraftverk i Frankrike som kyls med flodvatten fick stängas ner, antingen för att flodnivån blev för låg eller för att kylvattnet blev för varmt då det skulle återföras till floden. Det senare är inte tillåtet av miljöskäl. (UNEP, 2004).• Efterfrågan på el ökade markant under värmeböljan då användningen av luftkonditionering och kylanläggningar ökade (UNEP, 2004).• De två ovanstående omständigheterna ledde till att Frankrike var tvungen att importera el från England (Rübbelke och Vögele, 2011).• Totalt fick 30 kärnkraftverk i Europa reducera sin produktion. (Rübbelke och Vögele, 2011).	<ul style="list-style-type: none">• Omfattande elavbrott till följd av för stor belastning (NCCARF, 2009).• Omfattande elavbrott till följd av explosion i transformator (NCCARF, 2009).

<i>Sektor</i>	<i>Europa, 2003</i>	<i>Australien, 2009</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Även kärnkraftverk i Tyskland fick stängas då kylvattnet inte höll tillräckligt låg temperatur. (Met Office, 2013) • I England noterades överhettade "electricity sub-stations" (Benzie m fl, 2011). • Reflektion: kapaciteten hos energiförsörjningssystemen minskar under en värmebölja eftersom det är svårare att kyla ledare (conductors). Detta i sin tur ökar underhållet (NHS, 2011). 	
Gas	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga effekter av betydelse (NCCARF, 2009)
Järnvägar - spårvagnar	<ul style="list-style-type: none"> • Överhettade "power sources" för spårvagnar i sydvästra England (Benzie m fl, 2011). 	<ul style="list-style-type: none"> • Solkurvor på ny räls utan möjlighet till expansion. Kan leda till sprickbildning i asfalt om rälsen ligger i vägar, vilket är vanligt i Australien. Normalt håller asfalten rälsen på plats. Sprickorna ett mindre problem. (NCCARF, 2009) • Komforten försämrades för passagerare där det inte finns kylning. Dock inga rapporter om trasig luftkonditionering (NCCARF, 2009). • Inga spårvagnar slutade fungera. 97 % av spårvagnarna rullade 29-30 januari. (NCCARF, 2009)
Järnvägar - tåg	<ul style="list-style-type: none"> • Solkurvor gav hastighetsrestriktioner i UK som i sin tur gav upphov till stora förseningar. Värst drabbad var Birmingham New Street Station där hälften av tågen ställdes in. (BBC, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> • Liknande effekter som för spårvagnar, fast med mer omfattande konsekvenser (NCCARF, 2009). • Solkurvor på grund av högt liggande räls (banvall?). Ny räls utan möjlighet till expansion. Äldre bandelar, träslipers. (NCCARF, 2009)

<i>Sektor</i>	<i>Europa, 2003</i>	<i>Australien, 2009</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Hur känslig rälsen är beror på lokala förhållanden som geografi/topologi och underhåll (NHS, 2011). • Signalsystem fungerar troligen sämre i värmen eftersom de är beroende av kylning, men det fanns inga inrapporterade incidenter om det under 2003. (Hunt m fl, 2006) • Dieselmotorer bör också kunna överhettas, men inte heller det rapporterades under värmeböljan 2003 (Hunt m fl, 2006). • I Frankrike ställdes det nationella järnvägsbolaget SCNF inför en rad problem, främst för varma järnvägsvagnar och solkurvor som ledde till förseningar (Cochran, 2009). • Den ökade risken för bränder i anslutning till rälsen diskuteras (Cochran, 2009). 	<ul style="list-style-type: none"> • Trasiga luftkonditioneringssystem var en orsak till inställda tåg. En del menar att de inte klarar dessa temperaturer. (NCCARF, 2009) • Signalsystemet visade sig vara känsligt för extrem värme och olika typer av fel rapporterades under värmeböljan (NCCARF, 2009). • Utöver de direkta konsekvenserna drabbades järnvägen av elavbrott till följd av en explosion i en transformator (se energi). (NCCARF, 2009) • Adeline drabbades inte lika hårt som Melbourne trots att de hade samma typer av tåg (NCCARF, 2009). • På sidan 62, beskrivs en effekt som inträffade januari 2010; en ledning ovanför tågen expanderar och slår ner i tåget. Inga rapporter om det finns från 2009. (NCCARF, 2009)
Tunnelbana	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilationen i Londons tunnelbana fungerade inte, speciellt blev det problem då tågen ställdes in eftersom ventilationen är beroende av att tågen drar med sig luft (Hunt m fl, 2006). • Värmen i tunnelbanan i London blev outhärdlig (Met Office, 2013). 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser.
Vägar	<ul style="list-style-type: none"> • Viss vägbeläggning i UK smälte. Effekten beror dock mer på exponeringen av solljus, inte lufttemperaturen i sig. (NHS 2011, Met Office, 2013) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mindre problem med asfalt, beroende på typ (NCCARF, 2009). • Heta cykel- och gångvägar (NCCARF, 2009).

Sektor	Europa, 2003	Australien, 2009
	<ul style="list-style-type: none"> • En annan effekt som rapporterades benämns ”rutting” vilket ledde till hala ytbeläggningar (Hunt m fl, 2006). • Fler bilar bör gå sönder på grund av överhettning, men författarna har inte lyckats bekräfta hypotesen (Hunt m fl, 2006). • Reflektion: Om framkomligheten på vägarna minskar så ökar risken för att människor blir fast i varma bilar. (NHS, 2011) • I Frankrike diskuteras att höjda medeltemperaturer (ej nödvändigtvis extremvärme) påverkar vägbeläggning och vägfundament (Cochran, 2009). • Extrem värme kan leda till ett förändrat körbeteende och därmed fler olyckor (Cochran, 2009). 	<ul style="list-style-type: none"> • Problem med elektrisk utrustning som trafiksignaler, kameraövervakning (CCTV) (“they misbehaved”) .Att sju trafiksignaler inte fungerade på morgonen den 29 jan i Melbourne ansågs inte vara allvarligt. På morgonen den 30 jan saknades 124 signaler i centrala Melbourne. Primärt till följd av elavbrott. (NCCARF, 2009)
Bussar	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Viss brist på bussar. För att ersätta järnvägstrafik krävs 4000 bussar, normalt finns 30-40 i backup. (NCCARF, 2009)
Hamnar/sjöfart	<ul style="list-style-type: none"> • Låga vattennivåer i floder gav restriktioner för fartygstrafiken (Met Office, 2013). 	<ul style="list-style-type: none"> • Lastning av känsliga produkter blir en ökad fara ; Petroleum, stål . (NCCARF, 2009) • Arbetet stannar på grund av arbetsmiljöskäl vid 38 °C. Produktionen gick ner också till följd av elbortfall. (NCCARF, 2009) • Mekaniska problem över 40 °C rapporterades. (NCCARF, 2009)
Flygplatser/flyg	<ul style="list-style-type: none"> • Det är osannolikt att det ska bli problem med start- och landningsbanor eftersom de beläggs med asfalt med mycket 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade effekter, värmen gick nästan obemärkt förbi. (NCCARF, 2009)

<i>Sektor</i>	<i>Europa, 2003</i>	<i>Australien, 2009</i>
	<p>hög densitet (Hunt m fl, 2006).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Varm luft har lägre densitet och ger en högre bränsleförbrukning (Hunt m fl, 2006). 	
Dricksvatten-försörjning	<ul style="list-style-type: none"> • Tillgången på vatten i dricksvattentäcker minskade på grund av avdunstning och låga flöden. Samtidigt ökade behovet av vatten (Benzie m fl, 2011). • Konsekvenserna av ett vattenstopp är större under en värmebölja än under normala omständigheter (NHS, 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimala konsekvenser. Det konstaterades att infrastrukturen var robust för höga temperaturer. (NCCARF, 2009) • En del effekter på mekaniska komponenter, motorer. (NCCARF, 2009) • Mest allvarligt var att "aeration blowers" blev överhettade och stoppades automatiskt på ett avloppsreningsverk. Reducerad kapacitet under 4-5 dagar som följd. (NCCARF, 2009) • Elavbrott behövde speciell planering, processer rening vatten. (NCCARF, 2009)
Tele-kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • Det uppstod en rad fel i "communication and data management" i Frankrike, inga detaljer redovisas (McGregor m fl, 2007). 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga större konsekvenser rapporterats in. Det viktigaste är att se till att växlarna har kylning som är tillräcklig för den tillkommande värmen. Man noterade att det fanns reservkraft vid alla större anläggningar och att de mindre hade batteribackup. (NCCARF, 2009)
Luft-konditionering	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Luftkonditioneringen fungerade inte för alla. Problem både i privata och offentliga byggnader. (VCOSS, 2013)
Hissar	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problem med hissar till följd av strömavbrott. (VCOSS, 2013)

Sektor	Europa, 2003	Australien, 2009
Sjukhus	<p>Rapporterade effekter på ett sjukhus i London (Carmichael m fl, 2013):</p> <ul style="list-style-type: none"> • En frys gick sönder varpå (mänskliga) prover förstördes. • IT-utrustning fallerade varpå operationer fick ställas in. • Laboratorietrustning slutade fungera i hettan och arbete fick ställas in. • Elsystemet överbelastades när personalen använde bärbar luftkonditionering. <p>Reflektioner (Carmichael m fl, 2013):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alla kylsystem blir sårbara då de jobbar på temperaturgränsen för vilka de är designade. • Maskinerna som helst ska fungera i värmen genererar själva värme och blir en del av problemet. • Utrustning och IT-system är extra viktiga under en kris – och under en värmebölja är de extra sårbara. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser.
Kylförvaring av livsmedel	<ul style="list-style-type: none"> • I Frankrike bedömdes kylförvaringsystemen hos 20-30 % av alla ”food-related establishment” vara otillräckliga (IPCC, 2012). 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga rapporterade allvarliga konsekvenser.

Referenser – se huvuddokumentet.

