

Brandfara i bärbara datorer

Oscar Andersson

**Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lund University, Sweden**

**Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5364, Lund 2011

Brandfara i bärbara datorer

Oscar Andersson

Lund 2011

Title: Brandfara i bärbara datorer

Title: Fire hazard in laptop computers

Oscar Andersson

Report 5364

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5364--SE

Number of pages: 61

Keywords:

Laptop computer, fire, ignition, battery, Lithium-Ion, processor, CPU, overheating, explosion, thermal runaway.

Sökord:

Bärbar dator, brand, antändning, batteri, Litium-Jon, processor, CPU, överhettning, explosion, thermal runaway.

Abstract

This report is written to shed light on the fire risks with laptop computers. Different parts of the laptops are tested in different hypotheses, using literature studies, case studies and experiments.

The result indicates that Lithium-Ion batteries are the major risk, because of their high energy content. In some cases, the protective circuits may fail, which in worst case may result in rapidly increasing temperature and an explosion due to high internal pressure buildup.

CPU heat production is not sufficient alone to ignite a possible underlay, but could very well contribute to the battery issues, in which heat plays a major role. Other possible risks with laptop computers involve capacitors and adapters, which most often in incidents only cause melting/smoke, but in rare cases have been known to cause open fires.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2011.

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

Efter den tragiska dödsbranden i Staffanstorps 2009 och ett antal andra händelser ville Räddningstjänsten Syd tydliggöra riskbilden kring bärbara datorer. Ett projekt startades upp i samarbete med Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering på LTH; denna rapport är ett av resultaten.

I rapporten delas de potentiella brandhärdena upp på tre hypoteser, som sedan testas var för sig:

- *Hypotes 1 – Batterier i bärbara datorer kan orsaka bränder*, testas med litteratur- och fallstudie.
- *Hypotes 2 – Processorer i bärbara datorer kan orsaka bränder*, testas förutom med litteratur- och fallstudie också med en serie experiment.
- *Hypotes 3 – Andra enskilda komponenter i bärbara datorer kan orsaka bränder*, testas med litteratur- och fallstudie.

I litteraturstudien söks Internet och ett antal databaser av för att hitta material av intresse. Till fallstudierna söks framför allt insatsrapporter genom RIB, ett program från MSB som bland annat samlar insatsrapporter, men också annat material studeras. I experimenten körs bärbara datorer under olika driftsförutsättningar samtidigt som temperaturen loggas. På så sätt kartläggs olika förutsättnings inverkan på sluttemperaturen, samtidigt som en uppfattning ges om vilka temperaturer som är praktiskt och reellt möjliga att komma upp i.

Av resultatet som ges ur litteraturstudier, fallstudier och experiment dras följande slutsatser om hypoteserna:

- Hypotes 1 *stärks*. Litteraturstudien ger en teoretisk bild av problemet, som i grunden är batteriernas höga energiinnehåll. Visserligen finns en uppsjö av säkerhetssystem som ska övervaka och bryta in vid problem, men dessa har svårt att skydda mot framför allt statisk elektricitet och inre kortslutningar. Kemiskt exoterma reaktioner startar i batteriets inre som, om de får fortgå, kan skena iväg i vad som kallas ”thermal runaway”. Fortgår reaktionerna blir batteriet varmare och varmare, med risk för att slutligen explodera. Också fallstudien redovisar flera fall, inte bara för bärbara datorer, där Litium-jon-batterier exploderat och orsakat bränder.
- Hypotes 2 kan *inte* stärkas. I teorin skulle energin som produceras från processorn kunna värma datorn till temperaturer som riskerar att antända olika underlag, men experimenten visar att så höga temperaturer inte är plausibla. Avsaknaden av fall i fallstudien talar också för denna slutsats. Värmen som bildas kan dock förvärra problematiken med batterierna.
- Hypotes 3 *stärks svagt*. Huvuddelen av incidenterna med komponenter som identifierats (kondensatorer, transformatorer) verkar stanna vid smältning/viss rökutveckling. Från USA har dock rapporterats ett ytterst fåtal fall som orsakat öppen eld, vilket inte går att bortse från.

Summary

Following the tragic deadly fire in Staffanstorp 2009, and some other events, RSYD wished to clarify the fire risks with laptop computers. A project was started in cooperation with the department of Fire Safety Engineering and Systems Safety on LTH; this report is one of the results.

Within the report, the potential ignition sources are divided into three hypotheses, which are then being tested separately:

- *Hypothesis 1 – Batteries in laptop computers can cause fires*, is tested with a literature study and a case study.
- *Hypothesis 2 – Processors in laptop computers can cause fires*, is tested with a literature study and a case study, but also with a series of experiments.
- *Hypothesis 3 – Other individual components in laptop computers can cause fires*, is tested with a literature study and a case study.

In the literature study the Internet and a number of databases are searched in order to find data of interest. Cases to the case studies are above all taken from RIB, but also from other sources. In the experiments laptop computers are run under different operating conditions at the same time that the temperature is measured. This way the impact of the different operating conditions can be charted, while an estimate is given regarding what temperatures are plausible.

The literature studies, case studies and experiments result in the following conclusions regarding the hypotheses:

- Hypothesis 1 is *strengthened*. The literature study provides the theoretical basis to the problem, which basically is the high energy content in the batteries. There is a number of protective systems, but they might come up short against in particular static electricity and inner short circuits. Chemically exothermal reactions may start within the battery, and could potentially cause the inner temperature of the battery to bolt into a state known as “thermal runaway”. If this keeps on going, the battery might superheat and explode. The case study shows the presence of several incidents where Lithium-Ion batteries have exploded, causing fires.
- Hypothesis 2 *cannot* be strengthened. Theoretically the energy produced by the processor could heat the laptop to temperatures critical to the underlay, but the experiments show that this is not plausible. The lack of cases in the case study points in the same direction. The heat produced, however, is sufficient to cause problems with the batteries.
- Hypothesis 3 can be *mildly strengthened*. Most incidents in the case study (regarding capacitors and adapters) only result in melting/smoke, however a very few number of incidents from the USA seems to have caused open fire.

Förord

Denna rapport utgör del av kursen VBRM01 *Examensarbete – Brandteknik* och har skrivits för Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering på Lunds Tekniska Högskola. Övriga delar i kursen utgörs av muntlig presentation samt opponering på annat examensarbete. Kursen omfattar 22,5 högskolepoäng, vilket motsvarar 15 veckors heltidsstudier.

Kursen kan sägas knyta samman de kunskaper som studenterna tillskansat sig under utbildningens gång och utgör enligt egen åsikt kronan på det verk som är brandingenjörsutbildningen. Det har krävts idogt eget arbete men även en del hjälp på vägen.

Av denna anledning önskar jag tacka de personer som på ett eller annat sätt varit mig behjälpliga i färdigställandet av denna rapport. Särskilt tack riktas till följande:

<i>Patrick van Hees</i>	<i>Avdelningen för Brandteknik (handledare)</i>
<i>Nils Johansson</i>	<i>Avdelningen för Brandteknik (handledare)</i>
<i>Bertil Nilsson</i>	<i>Brandutredare på RSYD</i>
<i>Ulf Erlandsson</i>	<i>Tidigare brandutredare på MSB</i>
<i>Marianne Stålheim</i>	<i>MSB – Enheten för lärande av olyckor och kriser</i>
<i>Susanne Sundström</i>	<i>Elsäkerhetsverket – Avdelningen för Elektrisk Materiel</i>

Jag skulle dessutom vilja skänka en tacksamhetens tanke till de offentlighets- och serviceprinciper som styr svenska myndigheter. Dessa har underlättat informationsinhämtandet stort, vilket jag insett då jag försökt gå motsvarande väg i andra länders myndigheter.

Lund, Maj 2011



Oscar Andersson

Innehåll

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte & Mål.....	1
1.3 Metod.....	1
1.4 Hypoteser.....	1
1.5 Avgränsningar.....	2
2 Hypotes 1 - Batteri.....	3
2.1 Metod.....	3
2.1.1 Metod – Litteraturstudie.....	3
2.1.2 Metod – Fallstudie.....	3
2.2 Litteraturstudie.....	3
2.2.1 Uppbyggnad.....	4
2.2.2 Säkerhetssystem.....	6
2.2.3 Försök från litteraturstudien.....	8
2.3 Fallstudier.....	12
2.3.1 Staffanstorps 2009.....	12
2.3.2 Västerås 2009.....	13
2.3.3 Växjö 2005.....	14
2.3.4 Uppsala 2009.....	14
2.3.5 Brand i villa.....	14
2.3.6 DVD-spelare i Blekinge.....	15
2.3.7 Incidenter från omvärlden.....	16
2.4 Sammanfattande riskbild.....	17
3 Hypotes 2 – Processor.....	19
3.1 Metod.....	19
3.1.1 Metod - Litteraturstudie.....	19
3.1.2 Metod - Fallstudie.....	19
3.1.3 Metod - Experiment.....	19
3.2 Litteraturstudie.....	21
3.3 Fallstudier.....	23
3.4 Experiment.....	23
3.5 Diskussion.....	26
3.6 Sammanfattande riskbild.....	30

4 Hypotes 3 – Andra enskilda komponenter.....	33
4.1 Metod.....	33
4.1.1 Metod litteraturstudie	33
4.1.2 Metod Fallstudie	33
4.2 Litteraturstudie	33
4.3 Fallstudier.....	34
4.3.1 Hallsberg 2010	34
4.3.2 Karlstad 2008.....	35
4.3.3 Kondensatorer	35
4.3.4 Strömförsörjning	36
4.4 Sammanfattande riskbild.....	37
5 Slutsatser	39
5.1 Hypotes 1 – Batterier.....	39
5.2 Hypotes 2 - Processorer.....	39
5.3 Hypotes 3 – Andra komponenter.....	40
5.4 Övriga slutsatser	40
Källförteckning.....	41
Bilaga A – Temperaturkurvor från försöken	47
Dator 1	47
Dator 2.....	51
Dator 3.....	54
Bilaga B – Förslag på vidare studier	61

Figurförteckning

Figur 1 Laddbara batterier under urladdning (A) och laddning (B). Återskapad (Pistoia, 2005).	4
Figur 2 Principskiss för en prismatisk cell. Reproducerad med tillstånd (Batteriföreningen, 2009).	5
Figur 3 Skyddssystem till en cell, rörande ström i cellen. Återskapad (Electropaedia).....	7
Figur 4 Skyddssystem till en cell, rörande spänning i cellen. Återskapad (Electropaedia).....	7
Figur 5 Temperatur- och voltutveckling vid överladdning. Återskapad (Yoshio, Brodd, & Kozawa, 2009).	9
Figur 6 Reaktionen bidrag till thermal runaway vid ugnstest, 175°C. Återskapad (Spotnitz & Franklin, 2003).	11
Figur 7 Den brandskadade soffan vid branden i Västerås. Reproducerad med tillstånd (Reichert, 2010).	13
Figur 8 Den portabla DVD-spelaren efter incidenten. Reproducerad med tillstånd (Moscàn, 2006).	15
Figur 9 Batterirester efter explosionen. Reproducerad med tillstånd (Moscàn, 2006).	16
Figur 10 Exempel på placering av termoelement inför försök.	20
Figur 11 Hur ett moderkort kan se ut.....	21
Figur 12 "Heat sink" som avleder värme, i detta fall från ett grafikkort.....	22
Figur 13 Den delvis smälta komponenten från Hallsberg. Reproducerad med tillstånd (Nordin, 2010).	35
Figur 14 Brandbild stationär dator, brand i nätaggregat. Reproducerad med tillstånd (Ringqvist).	36

Tabellförteckning

Tabell 1 Stadier som identifierades under överladdningsexperimentet.....	10
Tabell 2 Kemiska reaktioner vid värmetest på LiIon-celler.....	10
Tabell 3 Ett urval av incidenter med batterier i bärbara datorer runt om i världen.....	16
Tabell 4 Materiel som används vid de praktiska temperaturmätningarna	19
Tabell 5 De sätt på vilka testen kommer varieras	20
Tabell 6 De bärbara datorer som testats.....	21
Tabell 7 Försöksuppställningar för Dator 1.....	23
Tabell 8 Resultande temperaturer vid stationärt läge för Dator 1.....	24
Tabell 9 Försöksuppställningar för Dator 2.....	24
Tabell 10 Resultande temperaturer vid stationärt läge för Dator 2.....	24
Tabell 11 Försöksuppställningar för Dator 3.	25
Tabell 12 Resultande temperaturer vid stationärt läge för Dator 3.....	25
Tabell 13 Jämförelse Strömkälla	26
Tabell 14 Jämförelse Belastning Dator 1.....	27
Tabell 15 Jämförelse Belastning Dator 2.....	27
Tabell 16 Jämförelse Belastning Dator 3.....	27
Tabell 17 Jämförelse Underlag Dator 1	28
Tabell 18 Jämförelse Underlag Dator 2.....	28
Tabell 19 Jämförelse Underlag Dator 3.....	29
Tabell 20 Jämförelse Datortyper.....	29
Tabell 21 Temperaturer för spontan antändning utan närvaro av pilotlåga.....	31

1 Inledning

I kursen VBRM01 *Examensarbete - Brandteknik* är tanken att brandingenjörerna som utbildas vid Lunds Tekniska Högskola ska skriva en vetenskaplig uppsats som knyter samman det som de lärt sig under sina studietider. Kunskaperna ska appliceras på en problemställning inom det brandtekniska området och tillämpas på ett ingenjörsmässigt sätt.

1.1 Bakgrund

Natten mellan första och andra september 2009 brann en villa i Staffanstorp med förödande konsekvenser. En kvinna och hennes fyra barn omkom i branden, som misstänks ha startat i en dator. Även på andra ställen i Sverige, såväl som i resten av världen har på senare tid ett flertal brandincidenter med bärbara datorer inblandade uppmärksammats.

Bertil Nilsson, brandutredare på Räddningstjänsten Syd, ville efter händelsen undersöka mer om bärbara datorer som tändkällor och skickade därför en förfrågan till Avdelningen för Brandteknik på Lunds Tekniska Högskola. Efter att ha sett flera likartade händelser på senare tid ville han på ett mer ingående sätt klarlägga riskbilden.

Detta examensarbete är därför uppstartat i samverkan med RSYD för att se över brandriskerna med bärbara datorer.

1.2 Syfte & Mål

Syftet med examensarbetet är att undersöka risker med och värmepåverkan från bärbara datorer under olika driftsförutsättningar samt att ge en teoretisk bakgrund till problemet.

Målet är att kunna lägga fram en tydlig riskutvärdering på området för att kunna ge en helhetsbild av de problemhärdar som finns hos bärbara datorer när det gäller värmeutveckling.

1.3 Metod

Här ges en övergripande beskrivning av vilka metoder som används. Mer detaljerade beskrivningar ges i inledningen på respektive kapitel i rapporten.

Examensarbetet genomförs övergripande som en hypotesprövning (Backman, 2008) (Ejvegård, 2003), med hypoteser enligt nedan. De olika hypoteserna testas på skilda sätt:

- Hypotes 1 om batterier testas med en fallstudie och en litteraturstudie. Litteraturstudien omfattar såväl teoretisk bakgrund om batteriers uppbyggnad som tänkbara orsaker och genomförda experiment på området.
- Hypotes 2 om processorer testas också den genom en fallstudie och en litteraturstudie, men till dessa läggs en serie med egna experiment. Syftet med experimenten är att praktiskt kunna se hur olika driftsförutsättningar påverkar datorns temperatur, samt vilka temperaturer som uppnås.
- Hypotes 3 om andra enskilda komponenter testas genom en litteratursökning samt en fallstudie.

1.4 Hypoteser

Som helhet testas hypotesen *Bärbara datorer kan fungera som tändkällor.*

Rent praktiskt, för att kunna undersöka olika komponenter hos bärbara datorer, delas huvudhypotesen in i följande tre delhypoteser:

- 1. Batterier i bärbara datorer kan orsaka bränder*
- 2. Processorer i bärbara datorer kan orsaka bränder*
- 3. Andra enskilda komponenter i bärbara datorer kan orsaka bränder*

1.5 Avgränsningar

Arbetet berör endast bärbara datorers egna komponenter och alltså inga tillbehör (som exempelvis mus, modem, högtalare, externt tangentbord, extern hårddisk).

2 Hypotes 1 - Batteri

I detta kapitel testas Hypotes 1: *Batterier i bärbara datorer kan orsaka bränder.*

2.1 Metod

Hypotes 1 testas genom en inledande litteraturstudie följt av en fallstudie med aktuella händelser. Detaljerad information om hur respektive prövning går till ges i avsnitten nedan. Sist i kapitlet sammanfattas de ingående delarna, vilket kommer ligga till grund för om hypotesen kan stärkas eller ej.

2.1.1 Metod – Litteraturstudie

Syftena med litteraturstudien är flera, men fokuserar på att beskriva viss problemhistorik samt batteriers uppbyggnad och säkerhetssystem. Dessutom kontrolleras om det gjorts praktiska försök på batterier för att få dem att brinna eller explodera.

Litteratur söks med två hjälpmedel. Dels Google, dels universitetets sökdata-baser. ELIN som övergått till Libhub är Lunds Universitets stora sökmotor för bland annat artiklar, böcker, journaler och databaser, medan google är en sökmotor för det öppna Internet.

I Libhub söks såväl e-böcker som tidskriftsartiklar med sökord som ”laptop fire”, ”battery fire”, ”battery temperature”, ”thermal runaway”. I Google nyttjas samma sökord samt svenska översättningar; ”brand bärbar dator”, ”brand batteri”, ”brand dator”. Från de resultat som ges sorteras de fall ut som förefaller vara av relevans för examensarbetet.

2.1.2 Metod – Fallstudie

Material till fallstudien (Backman, 2008) (Ejvegård, 2003) hämtas delvis från litteraturstudien som beskrivits ovan. Då jag stött på intressanta fall har dessa lagts till samlingen. Svenska fall prioriteras, fall från utlandet nämns kortare.

Huvudsökningen görs i RIB, en programvara från MSB som bland annat innehåller en stor samling av insatsrapporter. För att komplettera insatsrapporterna i RIB med vad som kommit in till MSB på senare år tas kontakt med MSB (Marianne Stålheim, verksamhetsansvarig olycksundersökning MSB) som ser över inkomna insatsrapporter som ännu inte kommit in i RIB:en. Begränsade efterforskningar görs för att få tag i originalhandlingar istället för de avidentifierade handlingar som återfinns i RIB, med blandat resultat.

Utöver detta granskas dessutom det underlag som Ulf Erlandsson, tidigare brandutredare, försett författaren med. Kontakt togs på ett tidigt stadium varpå Ulf skickade över en mängd dokument som han samlat på sig om bränder i datorer eller annan liknande elektronik.

2.2 Litteraturstudie

Under senare år har många människor jorden över blivit varse att batterier i bärbara datorer inte är helt riskfria. Endera tillhör man då den förhållandevis lilla grupp som har upplevt batterihaverier med brand- eller rökutveckling som följd, eller också tillhör man den grupp som i olycksförebyggande syfte uppmanats byta ut sina datorbatterier, då de anses utgöra brandrisk.

Efter att ett flertal incidenter med datorbatterier började rapporteras, såg sig slutligen de stora datortillverkarna tillsammans med CPSC (Consumer Product Safety Commission – som granskar produktsäkerhet för användare i USA) att agera. Batterier återkallades i omgångar, och toppen nåddes 2006 då 9,6 miljoner batterier fick återkallas (Williams, 2008). Värst drabbade blev Dell och Apple som återkallade 4,1 respektive 1,8 miljoner

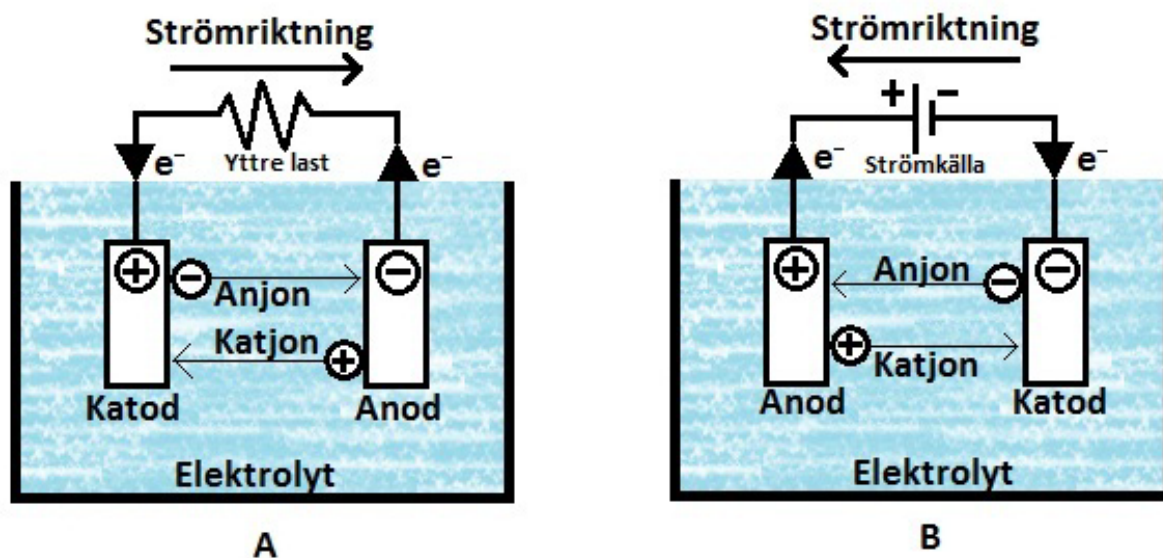
batterier vardera, men många andra fick också återkalla modeller. Bland dem kan nämnas Toshiba (340 000) (Moltzen, 2006) samt IBM & Lenovo (526 000) (Sabbas, 2006). Inte bara datorbatterier var drabbade; HP fick exempelvis återkalla nästan 680 000 batterier till digitalkameror (Krazit, 2006).

Problemet verkar inte ha försvunnit på senare tid. Under 2010 har fler återkallningar gjorts (CPSC, 2010).

2.2.1 Uppbyggnad

Grunden i ett laddbart batteri, en cell, är uppbyggd kring tre komponenter (Pistoia, 2005), se också Figur 1:

- En negativ elektrod där ett kemiskt element eller en kemisk sammansättning oxideras elektrokemiskt under avgivande av en elektron. Elektroden kallas då *anod*. Elektronen som avges färdas i kretsen mot den motsatta elektroden och ger upphov till en ström (A i figuren). Vid uppladdning (B i figuren) sker omvänd reaktion, d.v.s. en reduktion sker när elektronen nu fångas in till den ursprungliga anoden. Termerna ändras vid uppladdning, så det som kallades anod vid urladdning blir nu istället *katod*.
- En positiv elektrod där ett kemiskt element eller en kemisk sammansättning reduceras elektrokemiskt under upptagande av en elektron. Elektroden kallas då *katod*. Vid uppladdning sker istället en oxidering och elektronen skickas tillbaka i kretsen; katoden kallas då istället för *anod*.
- Elektrolyt, som under cellens reaktioner ska tillåta att anjoner och katjoner rör sig mot elektroder med motsatta tecken, för att sluta kretsen. Elektrolyten kan bestå av vatten- eller annan lösning av salter, alkalier eller syror, men även polymeriska eller fasta elektrolyter existerar.



Figur 1 Laddbara batterier under urladdning (A) och laddning (B). Återskapad (Pistoia, 2005).

Litium-Jon (LiIon) är i dagsläget standard för batterier i bärbara datorer (Pistoia, 2005) (Valdes & Wilson) och är också den typ som associerats med flest incidenter (se också avsnittet om incidenter). Att den ändå används såpass flitigt beror på att den på många mycket betydande områden har stora fördelar framför andra typer av batterier (Pistoia, 2005):

- Hög energidensitet (energi i förhållande till vikt)

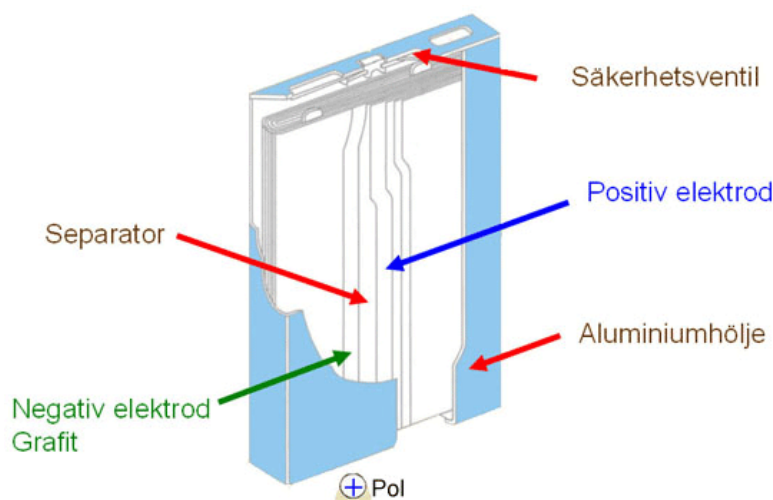
- Låg nivå av självurladdning
- Lång livscykel
- Inget underhållsbehov
- Relativt brett temperaturområde den fungerar i
- Möjlighet att skapa tunna batterier

Mot dessa fördelar vägs framför allt dessa nackdelar, av vilka man dock jobbar på att komma runt en del:

- Relativt hög initialkostnad
- Behov av skyddskrets för att skydda mot överladdning, överurladdning och häftig temperaturuppbyggnad
- Bryts ned vid för höga temperaturer
- Lägre kraft än Ni-Cd eller Ni-MH, speciellt vid lägre temperaturer

För att inleda beskrivningen av problematik kring LiIon-batterier behövs en beskrivning av deras uppbyggnad. Principen är densamma som för den generella beskrivningen i Figur 1. I en cylindrisk cell är de positiva och negativa elektroderna utformade som tunna, böjliga skivor, lindade med ett separerande skikt (separator) för att undvika kortslutning, och placerade i en bägare (Batteriföreningen, 2009). Den negativa elektroden består av olika former av kol, vanligen grafit, lagda på elektrodplattan, medan den positiva elektroden vanligen består av litium-koboltoxid (LiCoO_2). Det är alltså inte den rena metallen litium, utan en jonförening (därav namnet litium-jon). Organiska (vanligast) eller polymeriska elektrolyter används. Här återfinns en stor problematik då elektrolyterna är brännbara (Pistoia, 2005) och därmed sårbara vid bland annat kortslutning. Vissa flamretarderande tillsatser kan dock sänka risken något. Även andra studier har gjorts för att minska problemen (Yoshio, Brodd, & Kozawa, 2009).

Alternativ till cylindriska celler finns och används framför allt i telefoner (men också bärbara datorer), där formen är annorlunda. En s.k. *prismatisk* cell kan bäst liknas vid ett rätblock, en platta, se Figur 2.



Figur 2 Principskiss för en prismatisk cell. Reproducerad med tillstånd (Batteriföreningen, 2009).

Prismatiska celler används framför allt där utrymmet för batteriet är begränsat. Att vägas mot smidigheten ska dock en högre kostnad samt att energidensiteten blir lägre. När det kommer till säkerheten visar sig prismatiska celler mindre tåliga jämt emot övertryck och tenderar att bukta ut. (Pistoia, 2005)

En vidareutveckling av de prismatiska cellerna kallas för *polymercell*. Den spinner vidare på samma fördel, nämligen att ta lite plats, då den istället för en yttre metallbägare som fodral har ett hölje i formen av en böjlig folie (polymerlaminat) med ett tunt lager aluminium innanför. Cellen kan då göras mindre och lättare. Riskerna med denna typ är att cellen kan svälla vid gasutveckling, liksom att den har en starkt begränsad tålighet mot yttre våld (Batteriföreningen, 2009) (Pistoia, 2005).

Det kan nämnas något om batteriernas framtid. Många företag, stora som små, har gett sig in på området med målet att skapa säkrare alternativ till dagens LiIon. Ofta handlar det om att lägga in fler skyddsmekanismer av varierande typ (Ulanoff, 2007). Panasonic har exempelvis lagt till ett värmeresistent isolerande lager metalloxid, som vid kortslutning ska förhindra överhettning (VARBusiness, 2007).

Också i Sverige pågår forskning och arbete kring säkrare batterier. Vid Uppsala Universitet satsar man på att byta ut katoderna av koboltoxid mot järnsilikat. Detta ska göra batteriet betydligt säkrare, genom att syret tas bort som ingår i en av de exoterma reaktionerna, se kommande avsnitt. Dessutom sägs det göra batteriet endast obetydligt sämre (NyTeknik, 2006).

2.2.2 Säkerhetssystem

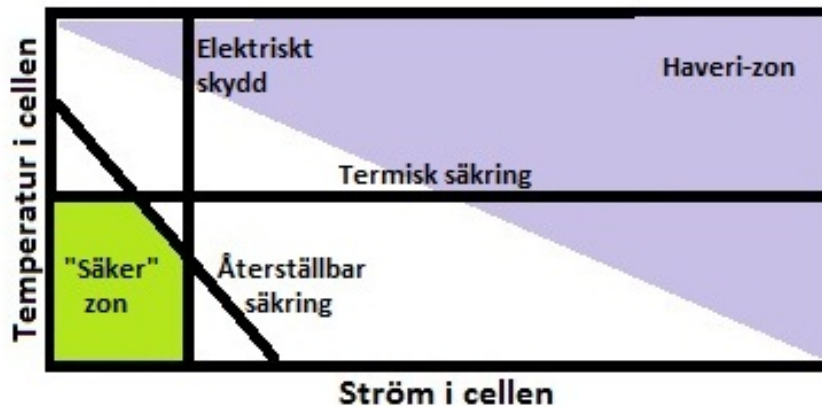
Generellt sett ska skyddet för cellen hantera (Electropaedia):

- För stark ström under laddning eller urladdning
- Kortslutning
- Överladdning
- Underladdning, d.v.s. att batteriet används för länge utan att laddas
- Höga omgivande temperaturer
- Överhettning – överskrida cellens temperaturgräns
- Tryckuppbyggnad inuti cellen
- Systemkrasch hos övriga delar av datorn
- Yttre våld

Vilka säkerhetssystem som faktiskt finns i eller till cellen varierar givetvis, men nedan kommer lite olika varianter och även problem att beskrivas.

En bra bild över vilka skyddsmekanismer som kan verka ges genom två figurer, för ström och spänning (Figur 3 och Figur 4).

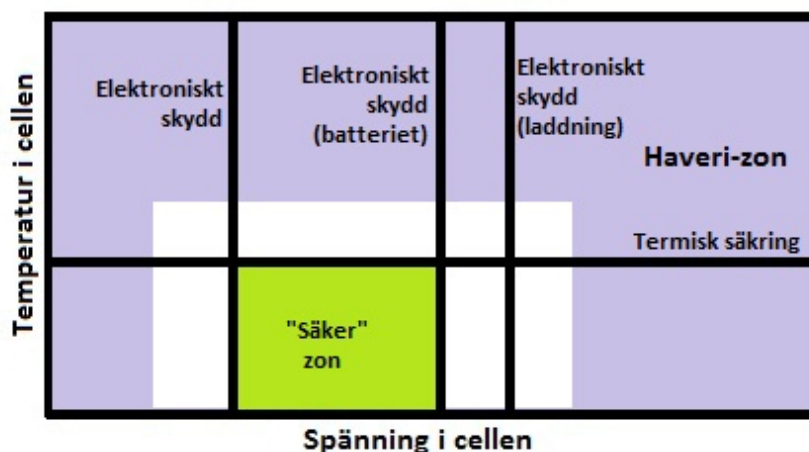
När det gäller kortslutningar finns det externa kretsar som skyddar mot externa kortslutningar. Åt de inre kortslutningarna går det dock inte att göra mycket utifrån. Problemet avhjälpes istället delvis genom olika varianter på separatorer (Electropaedia). Genom att använda olika material kan man exempelvis göra separatorerna mer temperaturtåliga.



Figur 3 Skyddssystem till en cell, rörande ström i cellen. Återskapad (Electropaedia).

Termiska säkringar utgör grundläggande skydd, då högre temperaturer förr eller senare kommer att få alla celler att kollapsa. Dessa säkringar är förinställda på särskilda temperaturer, över vilka de är tänkta att stänga av batteriet. Liknande skydd erbjuder en återställbar säkring, som reagerar mot flera av batteriets egenskaper. Den skyddar såväl mot höga temperaturer som mot för stark ström (Electropaedia).

Särskilda sensorer känner (vanligtvis) av strömstyrkan, och erbjuder skydd uppåt, genom att bryta kretsen om strömstyrkan blir för hög (Buchmann, 2006).



Figur 4 Skyddssystem till en cell, rörande spänning i cellen. Återskapad (Electropaedia).

Batterier kan ta skada såväl av överspänning som av underspänning, där det senare kan förekomma vid alltför kraftig urladdning. Förvaring av starkt urladdade LiIon-batterier gör att de tar skada och därefter kan orsaka säkerhetsproblem vid uppladdning (Buchmann, 2006). Särskilt känsliga kan dock batterier vara för överladdning. Förutom överladdnings-skydd i batteriet är vanligtvis laddning en fråga om samspel mellan batteri och laddare, där laddaren kontinuerligt matas med information om batteriets status. Vid användning av universalladdare kan detta skydd förloras, då laddaren inte är anpassad för just det batteriet. (Electropaedia) (OKit)

Problematiken med universalladdare har visat sig framför allt inom flygtrafiken, som ofta erbjuder sina resenärer laddare under resans gång. Amerikanska PRBA (Portable Rechargeable Battery Association) har uppmärksammat FAA (Federal Aviation Administration) på problemet, då man fruktade incidenter på flygplan (Popular Electronics, 1998).

Förutom felfungerande laddare kan även statisk elektricitet förstöra skyddskretsarna och låsa dem i sitt läge, detta utan att det märks för datoranvändaren. Batteriet fungerar då som vanligt, men utan skyddsmekanismer. Att detta är farligt behöver väl knappast påpekas... I detta läge riskerar cellen exempelvis överladdas och överhettas, varpå stor risk för brand uppstår (Buchmann, 2006). Att laddare och batteri matchar varandra är alltså av stor vikt!

Många kemiska kombinationer i batterier möjliggör generering av gaser, allra helst under överladdning. I så stor utsträckning som möjligt vill man hindra dessa gaser från att komma ut i det fria, varför man använder sig av metall- eller andra starka höljen på batterierna. För att undvika tryckuppbyggnad, som vanligen följs av temperaturstegring och i värsta fall att cellen slits isär och exploderar, har man i tillslutna batterier installerat en ventil som öppnar vid högt tryck. På så sätt hoppas man undvika explosion. Det är ett slags sista utpost när inget annat hjälper. (Electropaedia) (Pistoia, 2005)

Likadant finns i vissa fall en brytare som ska stänga strömmen vid laddning, om trycket överstiger en viss nivå. Denna lösning är dock mest ett alternativ för mindre celler med lägre energiinnehåll. (Buchmann, 2006) (Electropaedia)

Förhöjd temperatur anses ha stor inverkan på batteriets säkerhet (Wildstrom, 2006). Normalt ska inte LiIon-batteri användas mer än i max 60°C (Yoshio, Brodd, & Kozawa, 2009). Vid denna och högre temperaturer stiger batteriets inre tryck, vilket är särskilt kritiskt om batteriet är inneslutet endast i ett tunt plasthölje (Pistoia, 2005), se tidigare diskussion om batterityper. Det är vid högre temperaturer som metallpartiklar i batterierna får fritt spelrum (se inledningen på 3.2.4) och riskerar punktera separatorn med kortslutning som möjlig följd. Termen ”Thermal Runaway” tas upp i avsnitt 3.2.4.

Fysiska skador på batterier, exempelvis att man tappar datorn, är också möjliga orsaker till kortslutningar och de är svåra att skydda mot annat än att försöka göra batterierna mer robusta (Wildstrom, 2006).

2.2.3 Försök från litteraturstudien

Dell och Sony, som var två av de företag som syntes mest i batterihärvan, ansåg sig ha identifierat det dåvarande problemet till brister i ett, enligt dem, särskilt parti batterier. Mikroskopiska metalliska partiklar förekom i batteriernas inre och kunde under vissa omständigheter förflytta sig inuti batteriet och orsaka kortslutning, eller i vissa fall till och med brand (Roberts, 2006) (Sony, 2006).

Denna uppfattning återfinns också på annat håll (Wilson), då med tillägget att de små metallpartiklarna finns i alla batterier, bara i olika omfattning och storlek (som begränsas med förbättrade tillverkningstekniker). Då ett batteri blir varmt, exempelvis vid laddning eller användning, kan metallpartiklarna röra sig i elektrolyten. Risken finns att de punkterar separatorn och orsakar en kortslutning. Elektrolyten kan då antända om det uppstår en gnista, alternativt kan det explodera på grund av expansionen vid en hastig temperaturökning. Om temperaturuppbyggnaden sker långsammare kan batteriet istället smälta.

Fenomenet med stigande temperatur i bärbara datorers batteri refereras till som ”thermal runaway”, fritt översatt ungefär ”skenande temperatur”. Detta fenomen beskrivs på flera ställen där det hänvisas till experiment (Webster, 2010). För reaktionen fortsätta kan temperaturen på cellens yta nå så högt som 600°C. Finns då intelligande celler kan också de drabbas av fenomenet. Förloppet resulterar i att tryckventilen till slut öppnar, varpå den brännbara elektrolyten sprutar ut i det fria och riskerar antändas.

Ovanstående går också att tillämpa på polymeriska celler, där ”skenande temperatur” kan inträffa av samma orsaker (fysisk skada, intern kortslutning, extern uppvärmning m.m.). Däremot blir det ingen tryckuppbyggnad eller att elektrolyten sprutar ut. (Webster, 2010)

En fördjupning i begreppet ”thermal runaway” är av behovet.

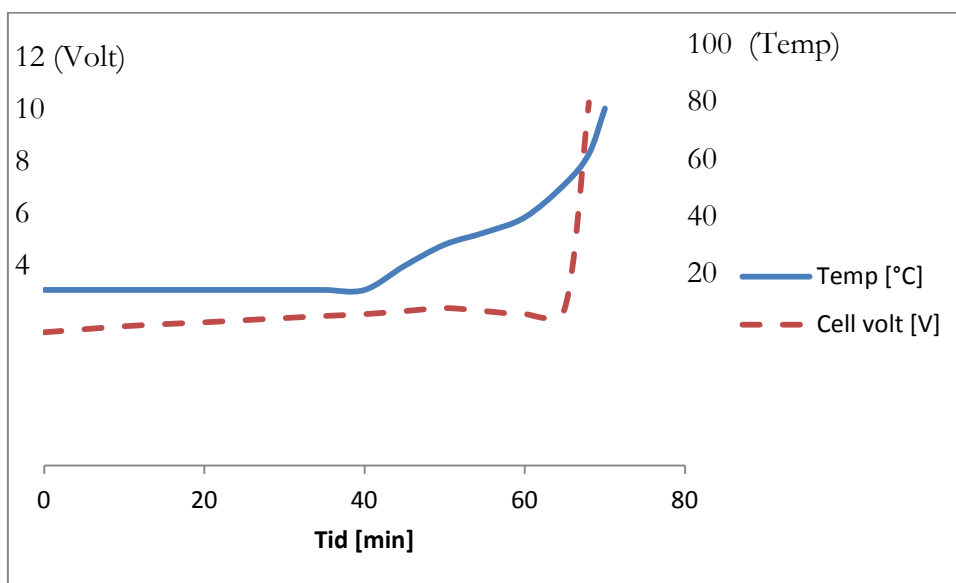
Se på en enskild battericell. Temperaturen i cellen är ett resultat av skillnaden mellan den tillförda värmen (t.ex. yttre värmeförsel, kemiska reaktioner) och den värme som avleds. När energin som tillförs kontinuerligt är större än energin som kan föras bort kommer temperaturen att öka.

När thermal runaway väl råder har batteriet nått en tillräckligt hög temperatur för att kemiska exoterma reaktioner i dess inre ska tillföra mer energi än vad som kan föras bort. Efter denna punkt ökar temperaturen kraftigt, då de exoterma reaktionerna ökar exponentiellt med temperaturen, medan värmeavledningen endast ökar linjärt. Angående vid vilken temperatur detta sker går uppgifterna isär något. I en del källor nämns 170°C (Kim, Lee, Lee, & Jin, 2010), 165°C (Webster, 2010) medan andra ger något lägre intervall, som 147-168°C (Ohsaki, o.a., 2005).

Hur batteriet når temperaturen där thermal runaway startar kan variera. Olika varianter ges i underrubrikerna nedan.

2.2.3.1 Överladdning

Ett av de test som hittats rörande överladdning av LiIon-celler, resulterade i rejäl värmeutveckling på batteriets yta. Från experimentets startfas (se Figur 5) urskildes fyra perioder, under vilka LiIon-cellen undergick olika kemiska reaktioner som resulterade i olika stor värmeutveckling, se Tabell 1. (Yoshio, Brodd, & Kozawa, 2009) (Ohsaki, o.a., 2005) (Wallerius, 2006)



Figur 5 Temperatur- och voltutveckling vid överladdning. Återskapad (Yoshio, Brodd, & Kozawa, 2009).

Den stigande temperaturen beror till stor del på den mycket exoterma reaktionen mellan Li_xCoO_2 och den brännbara elektrolyten, vilket resulterar i att syre frigörs vid katoden. Syret reagerar sedan ytterligare. Tidsskalan det rör sig om är dryga timmen.

Tabell 1 Stadier som identifierades under överladdningsexperimentet

Tid (ca)	Reaktion
0-20	Litium interkalerar grafit (klämmer sig in mellan molekylerna).
20-42	Litiumdendrit bildas på grafitens yta.
42-65	Temperaturen ökar relativt långsamt på grund av sönderfall av elektrolyt och anod samt sönderfall av elektrolytens fasta avlagringar.
65-70	När den inre temperaturen når cirka 60°C sker en stegring. Temperaturen ökar snabbare på grund av att katoden bryts ned i en mycket exoterm reaktion på relativt kort tid, då det också bildas syre. Syret som frigörs ökar sedan oxidationen i andra delar av batteriet.

Smältbara separerande skikt används i en del batterier för att hindra kortslutning. Vid alltför höga temperaturer drar ett skikt av denna typ ihop sig, vilket kan skapa stora kontaktytor direkt mellan anod och katod och därmed en rejäl kortslutning. (Chen, Hu, & Li, 2008)

Dendriten nämns som boven i dramat på andra ställen (Pistoia, 2005). Vid upprepade cykler av kraftig ur- och uppladdning kan dendriter formas på elektroden, så småningom i så stor omfattning att de kan perforera separatorn, nå den positiva elektroden och därigenom kortsluta cellen. Dagens batterier använder sig av litium legerat med aluminium som negativ elektrod, då detta reducerar bildandet av dendriter.

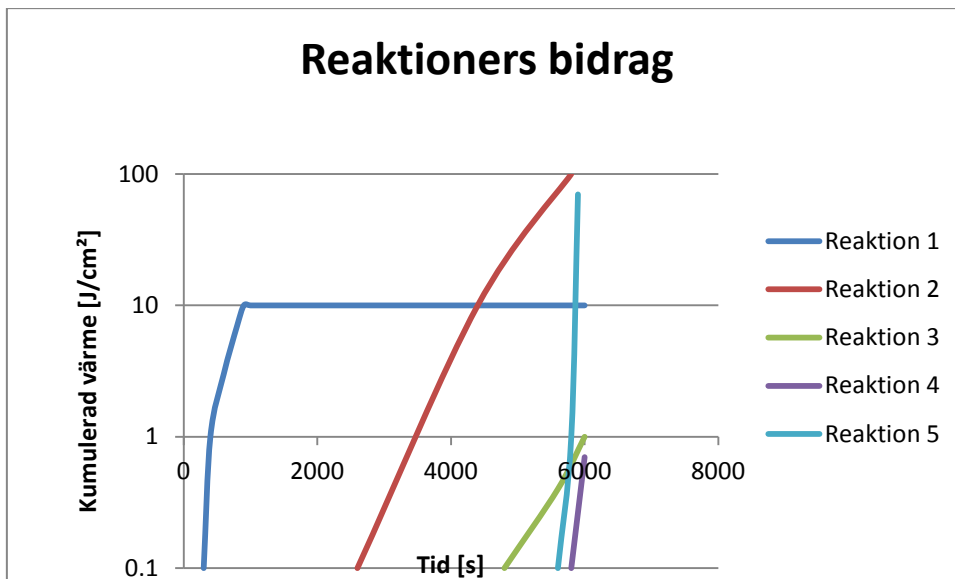
2.2.3.2 Tillförd värme

Experiment i ugnar har genomförts på LiIon-celler, där temperaturen i batterierna kontinuerligt höjts. För olika temperaturer sker exoterma eller på annat sätt bidragande reaktioner enligt Tabell 2.

Tabell 2 Kemiska reaktioner vid värmetest på LiIon-celler.

Nummer	Starttemperatur	Reaktion
1	70°C	En film på den negativa elektroden som kallas "Solid Electrolyte Interface" (SEI), vars funktion är att skydda elektroden mot direkt reaktion med lösningen, börjar nedbrytas. Sönderfallet sker exotermt vid 90-120°C.
2	110-120°C	Interkalerat litium reagerar exotermt med elektrolyten, då SEI-lagret på grund av nedbrytning inte längre separerar elektrolyten och den negativa elektroden.
3	160°C	Interkalerat litium reagerar exotermt med flourerat bindemedel.
4	180-200°C	Elektrolyten sönderdelas exotermt.
5	190°C	Exotermt sönderfall av den oxiderade positiva elektroden, under avgivande av syre. Syret i sin tur kan reagera exotermt med elektrolyten.

De olika reaktionerna har olika stor del i uppvärmningen under de olika faserna, men framför allt verkar initierandet av reaktion 5 i Tabell 2 ovan vara det som bidrar mest. Figur 6 visar på ett ungefär hur de olika reaktionerna bidrog vid ett ugnstest på 175°C. (Spotnitz & Franklin, 2003)



Figur 6 Reaktioners bidrag till thermal runaway vid ugnstest, 175°C. Återskapad (Spotnitz & Franklin, 2003).

Också kraftig urladdning kan tillföra värme på grund av bland annat entropiförändringar och ohmskt motstånd i cellen. (Spotnitz & Franklin, 2003)

Batterier bör alltså inte användas vid alltför höga temperaturer. En av internetkällorna uppger att litium-jon-batterier inte bör laddas i temperaturer över 45°C och inte urladdas i temperaturer över 60°C (radiolocman, 2010). Dessa siffror bekräftas i stort i författarens egna bärbara dators manual, där det uppges att batteriet inte bör förekomma i miljöer med temperaturer över 60°C och inte laddas vid temperaturer som överstiger 40°C. Om detta ändå görs riskerar batteriet läcka syra, bli hett, explodera eller antända och/eller orsaka skador (eMachines, 2009).

2.2.3.3 Fysisk påverkan/Kortslutning

Genom fysisk påverkan kan skikten inuti batteriet deformeras, inte minst separatorskiktet. Detta kan resultera i direktkontakt mellan elektroderna, vilket ger en kortslutning. Lokalt stiger då temperaturen snabbt, varpå de kemiska reaktionerna förstärker effekten. Yttertemperaturen på batteriet kan då kvickt klättra upp till 700°C. I och med att trycket ökar kan säkerhetsventiler öppna och skicka ut den brännbara elektrolyten i det fria. (Tabaddor, Wu, Jeevarajan, Jones, & Chapin, 2010)

Tester för att se vad fysisk påverkan har för effekt har gjorts. Två skilda typer är ”Nail test” och ”Crush test”. Den första varianten går ut på att penetrera batteriet med en spik, medan den andra skapar deformationer genom att en vikt släpps på batteriet. Spik-testet får lite olika följder till en början beroende på införingshastighet, men slutresultaten är i de flesta fall desamma, thermal runaway. Till skillnad från ugnstestet med relativt jämn värmefördelning sker uppvärmning först snabbt och lokalt på de ställen där nålen kortsluter cellen, s.k. ”hotspots”. De kemiska reaktionerna drar igång i punkten och sprider sig sedan. Rent kemiskt kommer reaktion 5, sönderfallet av den positiva elektroden, bli dominerande tidigt i utvecklingen och snabbt höja temperaturen i resten av batteriet (Spotnitz & Franklin, 2003). ”Crush test” ger lite olika resultat bland annat beroende på batterityp, men i en del av fallen skedde en kortslutning enligt första stycket, varpå batteriet överhettades.

Om tidsskalan vid ugnstesten rörde sig om 5000-6000 sekunder så är det snarare en fråga om 400-600 sekunder när det gäller kortslutning.

Se också avslutande stycket om dendriter i avsnitt 2.2.3.1.

2.2.3.4 Synergiska effekter

Var för sig verkar orsakerna enligt avsnitten ovan. Ofta kan det dock röra sig om en kombination av flera orsaker, till exempel att datorns batteri står på laddning på ett mjukt underlag och då kan utsättas såväl för överladdning som yttre värme.

I litteraturen som sökts finns ett begränsat antal kommentarer om synergi. ”Nail test” på prismatiska celler som var ”rätt” laddade kunde bli resultatlösa medan penetrering av celler som var lätt överladdade började ryka. På samma sätt gav ett ”crush test” på ett normalladdat batteri ingen reaktion, medan ett överladdat batteri fattade eld (Spotnitz & Franklin, 2003).

Starttemperaturen för thermal runaway när det gällde ugnstester varierade beroende på batteriets laddningsgrad. Vad experiment har visat är att för en del celler (dock inte alla) minskade starttemperaturen, där de kemiska reaktionerna avger tillräckligt med energi för att driva temperaturutvecklingen, med 10°C när cellens laddning ändrades från 25 till 75 % (Uchida, Ishikawa, Mohamedi, & Umeda, 2003). En ökad laddningsgrad gav alltså minskad starttemperatur, vilket inte verkar helt osannolikt. Ökad laddningsgrad motsvarar en högre energikoncentration, vilket ger ökad risk för höga temperaturer.

2.3 Fallstudier

Steg två i hypotesprövningen om batterier i bärbara datorer utgörs av fallstudier. Incidenter som föranlett räddningsinsats eller uppmärksammats på annat sätt är tänkt att komplettera litteraturstudien till en slutsats.

2.3.1 Staffanstorp 2009

Just före halv två på natten den 2 september 2009 larmades Räddningstjänsten Lomma – Staffanstorp till Domarringen i Staffanstorp på brand i byggnad. En granne som känt röklukt uppper att det kommer rök ur en villa och att han inte får kontakt med någon i huset.

Räddningstjänsten konstaterar vid framkomst att villan är rökfylld. Insats sker till en början helt och hållet i livräddande syfte. Fem personer återfinns efterhand av rökdykarna och tas ur villan till väntande ambulanser och sjukvårdande brandmän. När rökdykarna konstaterat att villan är tom övergår den invändiga insatsen till släckning och eftersläckning, medan de drabbade skickas dels till UMAS i Malmö, dels till USIL i Lund. Räddningstjänsten ordnar med debriefingsamtal för inblandad personal samt informerar kommunledning och POSOM-grupp. Tragiskt nog avlider samtliga fem personer som tagits ur den rökfyllda villan, en mamma med fyra barn. (Räddningstjänsten Lomma - Staffanstorp, 2009)

Händelsen får stor uppmärksamhet runt om i landet, på grund av de många döda som dessutom ingår i samma familj. Branden sker dessutom bara ett par månader efter den tragiska branden i Rinkeby, där en mor, hennes fem döttrar och ytterligare en ung kvinnlig släkting avlider av rökförgiftning (Khavar, 2009).

Polisen i Skåne Län inleder sin brandorsaksutredning bara ett par timmar efter räddningsinsatsen för att utreda om det rör sig om mordbrand. Man fokuserar sig på det av sovrummen som har de djupaste brandskadorna. På golvet i rummet, under en genombränd del av en soffa, anträffas bland annat resterna av en bärbar dator med nätsladd. Resterna skickas till Statens Kriminaltekniska Laboratorium (SKL) med begäran om ett sakkunnigutlåtande, bland annat för att utröna om det är ett fel på datorns batteri som orsakat branden (Ljungqvist, 2009).

För att kort sammanfatta utlåtandet från SKL talar resultatet av undersökningen för att branden orsakats av fel i datorns batteri, med +2 på SKL:s utlåtandeskala. Formuleringen

innebär att ”möjligheten att erhålla dessa resultat om någon annan hypotes är sann bedöms som liten”. Man konstaterar också att datorns spänningsanslutningsladd satt i datorn och troligen var kopplad till nätaggregat, liksom att batteritypen föreföll vara litium-jon. (Ohlsson, 2009)

Utlåtandet tillsammans med polisens förhör med anhöriga, vänner m.fl. till den drabbade familjen styrker teorin om datorn som brandstiftare. Uppgifter framkommer nämligen också att ett av barnen chattat med datorn kvällen/natten innan branden. (Ljungqvist, 2009)

2.3.2 Västerås 2009

Strax innan halv sex på kvällen den 15 dec 2009 inkom larm till Mälardalens Brand- och Räddningsförbund om brand i byggnad. Inringaren såg öppna lågor i fönstret till ett vardagsrum.

Räddningstjänsten kom snart till platsen, bröt upp lägenhetsdörren och gjorde en inre insats med rökdykare. Man konstaterar att lägenheten är tom och lyckas dessutom lokalisera den kraftiga branden till en soffa. Branden släcktes och lägenheten fick ventileras ur med hjälp av PPV-fläktar. Man kunde konstatera att lägenheten drabbats av kraftiga brandskador på en del av väggarna och soffan, se Figur 7.



Figur 7 Den brandskadade soffan vid branden i Västerås. Reproducerad med tillstånd (Reichert, 2010).

Lägenhetens ägare konstaterade att en dator stått på batteridrift i soffan. I detta fall förelåg ingen brottsmisstanke, varför brandplatsundersökningen genomfördes av räddningstjänstens brandutredare, som också var den person som agerat räddningsledare vid insatsen. Misstankarna riktades ganska tidigt mot datorn, varför en kontakt med tillverkaren togs. Det konstaterades att ett stort antal återkallanden visserligen skett, men inte gällande den aktuella modellen. Tillverkaren visade dock stort intresse för att få genomföra en egen undersökning av den brandskadade datorn.

Också det försäkringsbolag som var inblandat visade stort intresse för att få till stånd en egen undersökning, och var den part som fick möjlighet först. Denna undersökning antydde att datorn inte skulle ha haft någon inverkan på branden, något som brandutredaren fann märkligt. Efter viss kompletterande information omvärderade försäkringsbolaget sitt beslut och sände dessutom datorn vidare till SKL.(Reichert, 2010)

SKL konstaterar i sitt utlåtande att den beskrivna brandbilden tillsammans med undersökningen av datorns batterier talar för att branden startat i datorn och mest troligt i dess batteri (Erikson, 2010). Man tror att datorns placering, på dynorna i soffan, kan ha orsakat en temperaturstegring. I vilken mån stegringen kan ha påverkat batteriet är man osäker på.

Slutsatsen från brandutredningens sida går på SKL:s linje, och blir alltså att branden troligen startade i datorns batteripack. Bland de erfarenheter som dragits finns den att mjuka underlag som blockerar ventileringen kan ge orsak till en viss temperaturstegring som i detta fall kan ha bidragit till branden. (Reichert, 2010)

Händelsen uppmärksammades eftersom den kom relativt tätt in på Staffanstorpsbranden.

2.3.3 Växjö 2005

En lägenhetsinnehavare vaknade tidigt på morgonen av att lägenheten var fylld med rök. Visserligen brann det inte längre, men han larmade ändå via SOS, varpå räddningstjänst kom till platsen, för att kontrollera att det inte fanns någon vidare brandfara. Ambulans tillkallas då lägenheten är kraftigt nedsotad och lägenhetsinnehavaren troligen inandats en del rök. (Värends Räddningstjänst, 2005)

Tidigt stod det klart att en bärbar dator som stått övertäckt på laddning på en stoppad fotboll var orsaken till incidenten, det konstaterade såväl lägenhetsinnehavaren som räddningstjänsten. Polistekniker konstaterade att en cell i batteripelaren exploderat och utlöst branden. Datorn var visserligen avstängd, men stod alltså på laddning. I den satt originalbatterier, vilket skiljde sig från tidigare incidenter med batterier av denna typ.

Lägenhetsinnehavaren klarade sig undan med lättare rökskador, medan lägenheten fick totalsaneras efter omfattande rökskador. (Westergren, 2005)

2.3.4 Uppsala 2009

Räddningstjänsten larmades till en lägenhet i ett flerbostadshus efter att en granne ringt in att en brandvarnare ljöd och att det kändes röklukt i trapphuset. Brandmännen fick bryta sig in i den aktuella lägenheten och möttes av tät svart rök. Branden hade falnat varför insatsen blev att kyla brandresterna och ventiler ut den branddrabbade lägenheten (Pettersson, 2009).

En undersökning drogs igång. Det visade sig att lägenhetsinnehavaren hade satt två batterier av typ Litium Polymer på laddning och därefter lämnat lägenheten. Ungefär 20 minuter senare ringde grannen in till SOS. Vid närmare kontroll efter branden visade det sig att säkringen till vägguttaget hade löst.

De aktuella batterierna nyttjades inte till bärbara datorer, men är av motsvarande typ och ungefär samma storlek. Orsaken är inte fullständigt säkerställd till batterierna/laddaren, men brandbilden talar för att så är fallet.

2.3.5 Brand i villa

Detta fall har spårats till rätt räddningstjänst, men eftersom adress och datum saknas har inte originalhandlingarna kunnat identifieras.

En söndagsförmiddag larmades räddningsstyrkor till brand i en villa. Vid framkomst slog lågor ut från fönster i övervåningen och insatser gjordes på flera fronter, såväl invändigt som utvändigt. Brandförloppet var relativt häftigt, delvis på grund av den brännbara konstruktionen. Branden spred sig upp i takkonstruktionen som liksom väggarna var fyllda med kutterspån. Branden spred sig snabbt i dolda utrymmen, varför släckningsarbetet tog lång tid.

En undersökning påbörjades redan under räddningsinsatsen med att vittnen på plats hördes. Tyvärr omöjliggjordes en teknisk undersökning av startutrymmet av att vinden och det övre planet störtade in.

Slutsatserna som dragits av utredningen talar för att en bärbar dator som stod på laddning var orsaken till branden. Vikten av att elapparater som står på laddning ska hållas från brännbart material betonas i utredningen. Som möjlig annan orsak nämns dock också gamla elledningar, då huset var relativt gammalt (Wahling, RIB XM).

2.3.6 DVD-spelare i Blekinge

Denna incident rör inte en bärbar dator, utan en bärbar batteridriven DVD-spelare. Problematiken från incidenten anses till viss mån överförbar då det rör sig om elektriska apparater av ungefär samma storlek. Det är dock oklart vilka skyddssystem som ingick i DVD-spelaren.

En januarikväll 2006 sätter en familj sin bärbara DVD-spelare på laddning, apparaten läggs på golvet. Under natten exploderar batterierna (se Figur 8 och Figur 9) som sitter i spelaren vilket resulterar i att glödande eller brinnande delar sprids över golvet. En urkopplad elljusstake som också stod på golvet fattar eld, liksom till viss del själva golvet (laminat på spånplatta). Elden självslocknar dock och familjen uppmärksammar inte händelsen förrän på morgonen därefter, då övervåningen visar sig ha blivit strömlös (Moscàn, 2006).



Figur 8 Den portabla DVD-spelaren efter incidenten. Reproducerad med tillstånd (Moscàn, 2006).



Figur 9 Batterirester efter explosionen. Reproducerad med tillstånd (Moscàn, 2006).

2.3.7 Incidenter från omvärlden

Runt om i världen har incidentrapporter strömmat in till datortillverkare och konsumentorganisationer. Sedan 2003 har 339 fall rapporterats in till CPSC (~amerikanska konsument säkerhetsverket) bara i USA (Butcher, 2006).

Tabell 3 Ett urval av incidenter med batterier i bärbara datorer runt om i världen

Plats	Händelse
Icheon, Sydkorea	Datorbrand på sjukhus. ¹
Vancouver, Kanada	En bärbar dator på soffan börjar brinna, vilket slutligen resulterar i att en man i medelåldern avlider. ²
Osaka, Japan	Dator börjar brinna på en konferens, framför ögonen på konferensdeltagarna. ³
USA	Hus förstört i brand, troligen bärbar dators batteri som orsak. ⁴
New York, USA	Brand i dator ombord ett passagerarplan, som fick landa på närliggande flygplats. Branden släcks av flygplanspersonalen. ⁵
Biddeford, USA	Dator som står och laddar på en soffa orsakar brand som förstör ett bostadshus. ⁶
USA	På ett flygplan mellan Washington och Dallas börjar det ryka ur en bärbar dator. Batteriet avlägsnades. ⁷
Weston-Super-Mare, Storbritannien	Dator lämnades påslagen på en säng, vilket startade en brand. Fyra personer som befann sig i huset kunde räddas av en förbipasserande f.d. brandman. ⁸

¹ (Ramstad, 2008)

² (CBC News, 2009)

³ (Hales, 2006)

⁴ (Marco, 2007)

⁵ (Keizer, 2007)

⁶ (Weiss, 2007)

⁷ (Stoller, 2010)

⁸ (Langwith, 2010)

I Tabell 3 ovan listas de händelser som återfanns där batterierna givits skulden.

Bränderna som förekom på flygplan bidrog till att lyfta frågan om batterierna kunde betraktas som en säkerhetsrisk. Sedan april 1999 har Amerikanska FAA (Federal Aviation Administration – ungefär motsvarande luftfartsverket) fått in 40 rapporter om bränder där litiumbatterier eller apparater drivna av litiumbatterier varit inblandade (Stoller, 2010). Som en följd av detta ändrades 2008 riktlinjerna för Litiumbatterier som tas med på flygplan (American Airlines, 2008). Det blev inte längre accepterat att medföra extra litiumbatterier i det incheckade baggaget, endast i handbagaget och då med viss isolering/övertäckning. Skadade batterier accepteras inte alls, ej heller batterier för bil, båt eller flyg.

Ett tag valde en grupp internationella flygbolag att helt och hållet förbjuda användandet av bärbara datorer från Dell och Apple ombord på planen (Dade & Johnson, 2006).

2.4 Sammanfattande riskbild

I knappt någon av källorna har sannolikheter för fel nämnts. Det är de förutsättningar som råder vid det aktuella tillfället som avgör huruvida batteriet håller sig stabilt eller råkar in i en ond cirkel som i värsta fall slutar med explosion.

Från batteri till batteri varierar det givetvis, men helhetsbilden är ändå att ett modernt batteri består av en mängd säkerhetssystem som erbjuder skydd mot diverse påfrestningar. Svårast att skydda mot verkar vara inre kortslutningar, vilka kan ha flera orsaker. Yttre våld nämns som en möjlighet. Förhöjd temperatur, vid vilken mikroskopiska metallpartiklar får fart och riskerar punktera separatorn, är den orsak som Dell och Sony kom fram till i sina utredningar.

Bland övriga problem återfinns statisk elektricitet, som kan låsa skyddskretsarna till batteriet. Det fungerar då som vanligt, fast utan skyddsmekanismer. Också felaktiga laddare som inte är anpassade för det specifika batteriet kan orsaka problem. Batteriet riskerar kraftig överladdning, vilket kan få stora konsekvenser.

”Thermal runaway” är ett myntat uttryck inom området som kan översättas som ”skenande temperatur”. Fenomenet uppkommer när den värme som på olika sätt tillförs batteriet inte kan ledas bort i samma takt, vilket resulterar i stora temperaturökningar och i värsta fall brand eller explosion. Flera exoterma reaktioner med batteriets kemikalier inblandade bygger på energitillförseln allteftersom temperaturen ökar och vid temperaturer upp mot 150-170°C kan de kemiska reaktionerna på egen hand inducera thermal runaway.

Överlag verkar den rimliga gemensamma faktorn till problemen vara det höga energiinnehållet. När detta ökas ytterligare genom exempelvis yttre värmeförsel eller överladdning uppstår problem. Det är mot dessa problem säkerhetssystemen för sin kamp.

För ett batteri som används inom rätt temperaturintervall, utan fysiska skador och i de förutsättningar som avsetts vid fabriksleverans (rätt laddare, originalbatterier m.m.) torde risken för fel vara minimal, allra helst med den mängd säkerhetssystem som ingår. En av få rimliga felkällor blir då fabrikationsfel; inre kortslutningar på grund av mikroskopiska metallpartiklar som finns i batterierna.

Risken ökar dock med modifieringar av datorn och användande under fel förutsättningar. Den värme som utvecklas från processor och moderkort, som ju visats bli mer betydande under vissa förhållanden, betonas i flera källor som en avsevärd riskhöjare, även om den kanske inte ensamt kommer upp i temperaturer som startar kemiska reaktioner. Överladdning, fysisk påverkan, statisk elektricitet samt inre och yttre kortslutningar är fenomen som riskerar skicka in battericellen i ”thermal runaway”.

Fallstudien indikerar starkt att teorin från litteraturstudien kan omsättas till praktiska incidenter. De fyra nämnda svenska incidenterna har orsakat rök eller utvecklad brand, som i efterhand kunnat spåras till felande batterier. Utlåtanden från SKL väger tungt. Polisens och räddningstjänstens utredningar pekar i samma riktning.

Omfattningen av antalet utländska händelser som hittades genom ett enkelt sök förstärker detta intryck, även om utredningarna som gjorts i dessa fall verkar varierande i omfattning. Alla återkallanden som gjorts har uppenbart inte lyckats omfatta samtliga de batterier som ligger i riskzonen.

Noterbart är just det att många av batteriincidenterna, såväl svenska som utländska, har sin grund i att datorernas ventilationsförutsättningar varit starkt begränsade genom att datorn stått placerad på mjukt underlag. Likaså verkar en gemensam nämnare i en del av fallen vara att batteriet stått på laddning.

3 Hypotes 2 – Processor

I detta kapitel testas Hypotes 2: *Processorer i bärbara datorer kan orsaka bränder.*

3.1 Metod

Hypotes 2 testas genom litteratur- och fallstudie samt en serie experiment. Detaljerad information om hur respektive prövning går till ges i avsnitten nedan. Sist i kapitlet sammanfattas de ingående delarna, vilket kommer ligga till grund för om hypotesen kan stärkas eller ej.

3.1.1 Metod - Litteraturstudie

På samma sätt som för batterierna står LibHub och Google för sökvägarna när det gäller processorer. Resultat som återfunnits under sökningen för batterier kompletteras med sök på ”CPU heat”, ”laptop heat”, ”processor heat”, ”CPU temperature”, ”laptop temperature”, ”CPU fire”, ”processor fire”, ”thermal management”, samt de svenska översättningarna.

Utöver dessa letas också ArtikelSök igenom med sökord som ”värme processor”, ”värme CPU”, ”brand processor”, ”rök processor”.

3.1.2 Metod - Fallstudie

Underlag till fallstudien söks i RIB, på samma sätt som för batterierna men med delvis andra sökord. ”Processor”, ”Dator”, ”CPU” söks på och resultaten sällas efter de som uppges ha processor som orsak. Underlaget som Ulf Erlandsson (tidigare brandutredare) bidragit med läses igenom.

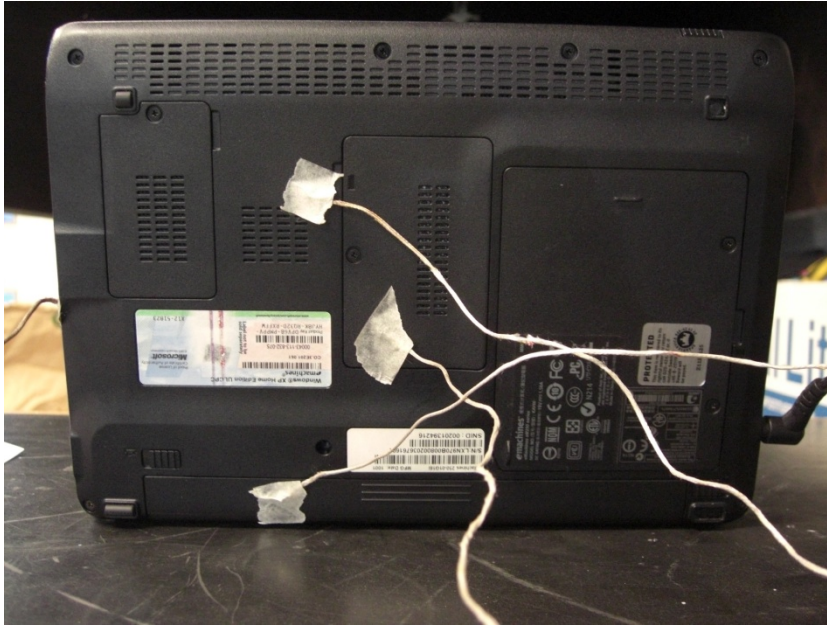
Dessutom söks Internet av med hjälp av Google, med de sökord som angetts för litteraturstudien ovan.

3.1.3 Metod - Experiment

Försöken genomförs i brandlabbet, V-huset på John Ericssons väg 1 i Lund. Materiel som används i försöken listas nedan i Tabell 4 och exempel på hur en dator preparerats för test finns i Figur 10 nedan.

Tabell 4 Materiel som används vid de praktiska temperaturmätningarna

Objekt	Ändamål
Bärbar dator	Försöksobjekt
Termoelement + tejp	Kopplade till heta zoner på den bärbara datorn för att registrera temperatur över tid.
Stationär dator + programvara	Kopplade till termoelementen, för att logga resultatet av temperaturmätningen.
Värmekamera	Används vid en del av försöken för att lokalisera vilka områden på den testade datorn som är hetast; avgör placeringen av termoelementen. Ger också en ungefärlig temperaturangivelse.
Mineralull	Används för att variera förutsättningarna vad gäller ventilation och isolering.
Värmebläkt	Används vid ett av försöken för att trycka upp temperaturen ytterligare. Tillför luft med ungefärlig temperatur på 70°C.



Figur 10 Exempel på placering av termoelement inför försök. (Egen bild)

Försöken går till på sådant sätt att försöksobjekten, de bärbara datorerna preparerade för olika förutsättningar, placeras på ett bord eller en mineralullsskiva, varpå termoelementen ansluts med hjälp av tejp. Datorn körs sedan under avsett driftsförhållande tills dess att temperaturutvecklingen avstannat eller datorn stängt av sig. Resultatet (d.v.s. temperaturerna) loggas kontinuerligt under försökets gång på den stationära datorn och kan efter försökets avslut sättas in i en graf för tolkning.

De test som författaren gjort själv kompletteras med försök som gjorts i samband med en förstudie till projektet (Johansson, 2010), detta för att ge en heltäckande bild. Dessa försök har genomförts med samma uppställning och metod som beskrivs i detta avsnitt.

De olika förutsättningar som kommer testas för de bärbara datorerna listas nedan i Tabell 5.

Tabell 5 De sätt på vilka testen kommer varieras

Faktor	Variation
Skärm	Uppfälld eller nedfälld.
Strömkälla	Batteri, laddning eller nätanslutet utan laddning.
Processorbelastning	Obelastat eller full belastning. Varieras genom att köra stora simuleringar som kräver mycket arbete.
Underlag	Varierar ventilationen, då mycket av tilluften sitter på datorns undersida, samt isoleringen. Endera plant underlag (bordsskiva) eller mjukt, isolerande underlag (mineralull).

De datorer som används för försöken är av lite varierande typ och återfinns i Tabell 6 nedan. Modell och fabrikat anges ej.

Tabell 6 De bärbara datorer som testats

Benämning	Typ	CPU
Dator 1	Laptop	1,4 GHz
Dator 2	Laptop	2 GHz
Dator 3	Netbook	1 GHZ

Ytterligare en del förutsättningar när det gäller datorerna bör betonas. Framför allt det att Dator 1 och Dator 2 är relativt gamla datorer, som troligen inte utvecklar fullt så mycket värme som nya datorer av samma storlek skulle göra. Dessutom en storleksskillnad, då Dator 3 är en Netbook, med de ungefärliga måtten 18x26 [cm], att jämföra med Dator 1 och 2 som är av mer typisk storlek, cirka 26x32 [cm]. Det skiljer också lite i tjocklek.

För att få en komplett bild över värmeutvecklingen är uppfattningen den att försök behöver utföras på betydligt fler och framför allt nyare datorer, som utförligt bör testas för de givna förutsättningarna och eventuellt fler. Till denna rapport gjordes en begränsning till de relativt få datorer som enkelt kunde samlas in. För framtida exjobbare känns dock en större kartläggning av värmeutveckling som ett lämpligt ämne.

3.2 Litteraturstudie

Moderkortet i en dator kan sägas utgöra ryggraden i densamma. Det är ett centralt kretskort, med uttag där man kan koppla in andra, mindre kretskort. Det binder alltså genom överföringar och anslutningar samman datorns olika delar, se Figur 11, för att kunna fungera som en helhet. Exempel på delar som ansluts kan vara processor, hårddisk, DVD-enhet, grafikkort, ljudkort, och externa utgångar.



Figur 11 Hur ett moderkort kan se ut. Reproducerad med tillstånd (Städje, 2008)

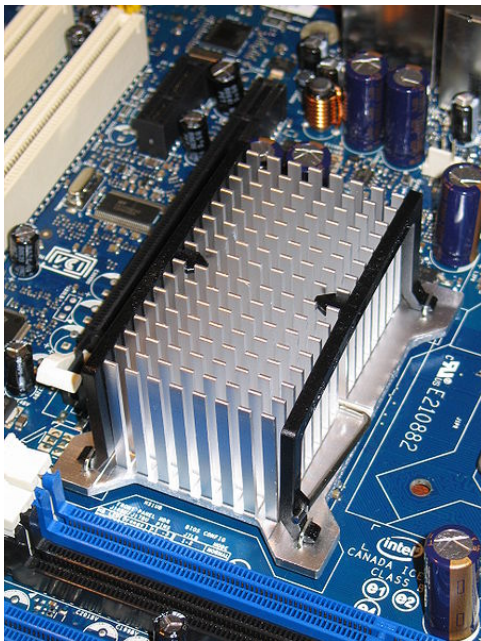
När det mesta av datorns energikrävande komponenter trycks samman på en liten yta är det inte särskilt konstigt att det utvecklas värme. Framför allt processorn (och videokortet, som ofta är integrerat i bärbara datorer) är de enheter som bidrar till att en temperaturhöjning sker vid belastning. Delvis är dock tanken just att samla alla värmegenererande komponenter, för då räcker det med en eller två riktade fläktar för att kyla dem (Gedgaud, 2005)

Problemet med kylning har blivit större med åren, allteftersom datorerna blivit mindre och mindre (komprimerar energin till mindre område) samtidigt som processorer blivit snabbare och därmed varmare. Å andra sidan har vissa säkerhetsfunktioner tillkommit.

En enkel värmebalans kan ställas upp för det inre i bärbara datorer. Temperaturen i datorns inre kommer stiga tills dess att värmeutvecklingen från värmealstrande komponenter motsvarar den värme som avges till omgivningen. Då uppnås ett jämviktsläge. Vilken temperatur jämviktsläget hamnar vid avgörs av de två komponenterna i balansen, nämligen vilken energi som utvecklas (beror bland annat på belastning) och vilken mängd energi som förs bort till omgivningen (med hjälp av framför allt ventilation). För att datorn ska fungera så bra som möjligt får inte denna temperatur stiga alltför högt.

Två viktiga termer för att beskriva kylning är *aktiva* och *passiva* system. Passiva system består av en eller flera metallplattor, s.k. "heat sink" (se Figur 12), fästa till den värmealstrande komponenten som avleder värme passivt, typiskt upp genom tangentbordet. När det gäller aktiva system är de i grund och botten samma som passiva system, med den skillnaden att en tillsatt fläkt för värmen från metaldelen ut från datorn. (Wikipedia)(Intel, 2008)

Typiska hinder för kylning utgörs exempelvis av dammbildning, som dels verkar som isolering till de varma komponenterna, dels minskar luftflödet genom att täppa till ventilationsöppningarna. Även dåligt luftflöde av andra orsaker, exempelvis turbulens, blockerade öppningar av andra orsaker eller felriktade fläktar kan göra att högre temperaturer än avsett uppstår.



Figur 12 "Heat sink" som avleder värme, i detta fall från ett grafikkort.

Det grundläggande brandskyddet kommer sig ur att plasterna som används i datorer har relativt hög antändningstemperatur; det krävs temperaturer på flera hundra grader för att åstadkomma brand med öppna lågor (Erikson, 2010). Ofta är materialen (plasthöljen och

kretskort) flamskyddsbehandlade, dock med miljö- och hälsoskadliga ämnen som man hoppas kunna ersätta eller avveckla (Köhler, 2000) i framtiden.

Dagens moderkort inkluderar hård- och mjukvara för övervakning av temperatur, med syftet att förhindra överhettning av processorn. Dessa system är dock inte alltid till 100% felsäkra (som med det mesta annat). Gränsen för vilka temperaturer processorer klarar av ligger generellt sett mellan 60-100°C och det är dessa temperaturer temperaturövervakningssystemen jobbar för att förhindra. Vid eller över dessa kritiska temperaturer finns kortsiktigt risk för systemkrascher och långsiktigt förkortad livslängd på processorn. I extremfall kan processorn bränna ur eller smälta ned på moderkortet. (PantherProducts)

3.3 Fallstudier

Trots idogt sökande har inga fall identifierats där skulden uttryckligen läggs på en överhettande processor. Den teoretiska bilden av ett möjligt brandförlopp kan alltså inte verifieras med faktiska händelser.

Vad som kunnat lokaliseras, som skulle kunna vara av intresse, är diverse hemsidors angivelser för hur varma enskilda användares processorer har blivit. Temperaturer har rapporterats så höga som runt 108°C (MoreBusiness, 2000). Ingen verifikation finns dock på dessa temperaturer, varför de inte bör ses som den absoluta sanningen.

3.4 Experiment

För att komplettera den teoretiska bilden över vilka temperaturer som en bärbar dator kan uppnå innan ett eventuellt säkerhetssystem reagerar, görs ett antal försök. Målen med försöken är flera:

- Undersöka vilka maximala temperaturer som uppnås
- Undersöka hur förutsättningarna påverkar temperaturutvecklingen
- Se skillnader mellan datortyperna
- Se vilka områden som blir varmast

Temperaturkurvorna i sin helhet återfinns i Bilaga A. Resultaten åskådliggörs i tabellerna nedan, först ut är dator 1. Anledningen till att det finns hål i tabellerna är att mätpunkterna till en början placerades på olika punkter i olika försök.

Dator 1

Försöksuppställningarna som Dator 1 kördes mot visas i Tabell 7 nedan. Temperatureerna som uppnåddes då stationära lägen uppstod visas därefter i Tabell 8.

Tabell 7 Försöksuppställningar för Dator 1.

Nummer	Belastning processor	Underlag	Lock	Krafterförsörjning
#1	0%	Plant	Öppet	Nätkabel
#2	0%	Plant	Stängt	Nätkabel
#3	100%	Plant	Öppet	Nätkabel
#4	100%	Plant	Stängt	Nätkabel
#5	0%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#6	100%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#7	100%	Isolering	Stängt	Nätkabel
#8	100%	Dubbel isolering	Stängt	Nätkabel

Tabell 8 Resultande temperaturer vid stationärt läge för Dator 1.

	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida	Skärmkant	Vänsterkant, undersida
#1		36		32	39	35
#2	28	35	27	32		
#3	37	42		35		37
#4	35	42	27	35		
#5	37	44		44		37
#6	38	61		44		38
#7	35	60		40		37
#8	45	75	32	47		

Dator 2

Försöksuppställningarna som Dator 2 kördes mot visas i Tabell 9 nedan. Temperaturerna som uppnåddes då stationära lägen uppstod visas därefter i Tabell 10.

Tabell 9 Försöksuppställningar för Dator 2.

Nummer	Belastning processor	Underlag	Lock	Kraftförsörjning
#1	0%	Plant	Öppet	Nätkabel
#2	0%	Plant	Stängt	Nätkabel
#3	100%	Plant	Öppet	Nätkabel
#4	100%	Plant	Stängt	Nätkabel
#5	0%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#6	100%	Isolering	Stängt	Nätkabel
#7	100%	Dubbel isolering	Stängt	Nätkabel
#8	100%	Dubbel isolering, värmefläkt	Stängt	Nätkabel

Tabell 10 Resultande temperaturer vid stationärt läge för Dator 2.

	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida
#1	23	44	32	41
#2	24	44	38	44
#3	24	49	35	48
#4	24	49	40	48
#5	23	50	34	49
#6	29	58	44	56
#7	60	96	69	76
#8	71	101	84	87

Dator 3

Försöksuppställningarna som Dator 3 kördes mot visas i Tabell 11 Tabell 9 nedan. Temperaturerna som uppnåddes då stationära lägen uppstod visas därefter i Tabell 12.

Tabell 11 Försöksuppställningar för Dator 3.

Nummer	Belastning processor	Underlag	Lock	Kraftförsörjning
#1	0%	Plant	Öppet	Nätkabel
#2	0%	Plant	Stängt	Nätkabel
#3	100%	Plant	Öppet	Nätkabel
#4	100%	Plant	Stängt	Nätkabel
#5	0%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#6	0%	Isolering	Öppet	Batteri
#7	0%	Isolering	Öppet	Laddas
#8	100%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#9	100%	Isolering	Öppet	Batteri
#10	100%	Isolering	Öppet	Laddas
#11	100%	Plant	Öppet	Batteri
#12	100%	Plant	Öppet	Laddas
(#13	100%	Isolering	Öppet	Nätkabel)

Tabell 12 Resultande temperaturer vid stationärt läge för Dator 3.

	Utsida Batteri	Undersida	Transformator	Tangentbord	Annat
#1	25	40	37	33	
#2	25	41	35	38	
#3	25	45	37	35	
#4	25	46	37	43	
#5	30	45	43	30	
#6	30	47	20	30	
#7	32	48	58	30	
#8	35	62	50	35	
#9	33	52	(20)	39	47 annan punkt baksida
#10	37	64	58	37	
#11	28	45	20	35	
#12	30	50	45	36	
(#13	38	65	52		70 utventilation)

Noterbart när det gäller Dator 3 är att i ett av de försök som gjorde tidigast (som i tabellen fått nummer 13) stängde den bärbara datorn helt av sig själv, förmodligen då säkerhetssystemen reagerade på den höga temperaturen. Efter detta försök upplevdes en viss nedgång i datorns prestanda. Ett nytt försök med motsvarande förutsättningar (#8) genomfördes för att kunna jämföra de kommande resultaten med samma (något försämrade) prestanda.

3.5 Diskussion

Bland placeringen av de fyra mätpunkter som använts i försöken finns vissa skillnader. Detta då försöken bland annat genomförts över en längre tid, samt att en del av försöken genomförts av andra personer än författaren (Johansson, 2010). Inledningsvis placerades termoelementen med värmekamerans assistans och kunde då hamna på olika ställen. Tekniska problem satte stopp för ytterligare försök på dator 1. På Dator 3 testades andra placeringar, på punkter som efter försökens gång identifierades som extra varma. Då Dator 3 var författarens egna dator, som dessutom efter att den stängde sig själv under ett av experimenten upplevdes få något försämrade prestanda, gjordes inga ytterligare försök som väntades få samma eller högre temperaturer.

Jämförelser görs nu mellan mätresultaten för att se hur förutsättningarna listade i Tabell 5 inverkar på temperaturerna.

Skärm (Öppen/Stängd)

Denna faktor verkar ha endast marginell påverkan, oavsett belastning och underlag. Transformatorn tenderar bli något svalare, möjligen orsakat av att skärmen slocknar då den stängs (d.v.s. mindre energi krävs). Viss temperaturökning sker på touchpad/tangentbord, som får ett isolerande lock över sig då det stängs, så inget konstigt med det. Det blir en invändig temperaturhöjning som inte påverkar datorns yttre. Temperaturen på undersidan håller sig relativt konstant, möjligen med liten ökning. För Dator 1 på undersidan sker en minskning av temperaturen mellan #6 och #7, oklart varför. Sammantaget dock inga stora skillnader.

Strömkälla (Nätanslutet, Nätanslutet med laddning, Batteri)

Försök på denna parameter genomfördes endast på Dator 3 av den enkla orsaken att den var den enda av datorerna med ett batteri som varade i tillräckligt lång tid för att ge relevanta utdata.

Intressant blir att jämföra försöken #3-11-12, #5-6-7 samt #8-9-10 sinsemellan, då det inom dessa grupper endast är strömkällan som skiljer.

Tabell 13 Jämförelse Strömkälla

	Utsida Batteri	Undersida	Transformator	Tangentbord	Läge
#3	25	45	37	35	Nätansl
#11	28	45	20	35	Batteri
#12	30	50	45	36	Laddas
#5	30	45	43	30	Nätansl
#6	30	47	20	30	Batteri
#7	32	48	58	30	Laddas
#8	35	62	50	35	Nätansl
#9	33	52	(20)	39	Batteri
#10	37	64	58	37	Laddas

Som kan avläsas ur Tabell 13 visar sig skillnaderna på flera ställen. Batteriets utsida blir som varmest under laddning, även om det inte rör sig om några större temperaturer. Också undersidan blir varmest då datorn laddas, liksom transformatorn.

I försök #9 misstänks skillnaderna bero på olika små skillnader i placeringen av termoelement, då försöken inte genomfördes samma datum.

Processorbelastning

Faktorn väntades få stor betydelse, då det i det föregående teoriavsnittet fokuserats på processorn som värmekälla. Resultaten som är intressanta att jämföra återfinns i tabellerna nedan.

Tabell 14 Jämförelse Belastning Dator 1

	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida	Vänsterkant, undersida	Läge [%]
#1		36		32	35	0
#3	37	42		35	37	100
#2	28	35	27	32		0
#4	35	42	27	35		100
#5	37	44		44	37	0
#6	38	61		44	38	100

Tabell 15 Jämförelse Belastning Dator 2

	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida	Läge [%]
#1	23	44	32	41	0
#3	24	49	35	48	100
#2	24	44	38	44	0
#4	24	49	40	48	100

Tabell 16 Jämförelse Belastning Dator 3

	Utsida Batteri	Undersida	Transformator	Tangentbord	Läge [%]
#1	25	40	37	33	0
#3	25	45	37	35	100
#2	25	41	35	38	0
#4	25	46	37	43	100
#5	30	45	43	30	0
#8	35	62	50	35	100
#6	30	47	20	30	0
#9	33	52	20	39	100
#7	32	48	58	30	0
#10	37	64	58	37	100

Som går att utläsa ur Tabell 14, Tabell 15 samt Tabell 16 gör skillnaderna i belastningen också skillnader i datorns temperaturer, om än på lite olika håll. För Dator 1 märks skillnaderna framför allt på transformatorn, med något mindre skillnader på undersida och batteri. För Dator 2 ökar skillnaderna på undersidan, även om skillnaderna fortfarande är tydliga på transformatorn. De betydande temperaturskillnaderna på transformatorn syns mindre tydligt på Dator 3, där man istället ser de största skillnaderna på undersidan. Också skillnaderna på tangentbordet är betydande här.

Underlag

Underlagets betydelse väntades också bli stor, då det enligt föregående avsnitt här ofta finns datorns tilluftsöppningar, väsentliga för kylningen. När mineralull användes tillkom dessutom den rent isolerande faktorn, som väntades hålla mer neråtriktad värme kvar i datorerna.

Tabell 17 Jämförelse Underlag Dator 1

	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida	Vänsterkant, Läge undersida
#1		36		32	35 Plant
#5	37	44		44	37 Isol
#3	37	42		35	37 Plant
#6	38	61		44	Isol
#4	35	42	27	35	Plant
#7	35	60		40	Isol
#7	35	60		40	Enkel Isol
#8	45	75	32	47	Dubbel Isol

Tabell 18 Jämförelse Underlag Dator 2

	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida	Läge
#1	23	44	32	41	Plant
#5	23	50	34	49	Isol
#4	24	49	40	48	Plant
#6	29	58	44	56	Isol
#6	29	58	44	56	Enkel Isol
#7	62	82	46	67	Dubbel Isol

Tabell 19 Jämförelse Underlag Dator 3

	Utsida Batteri	Undersida	Transformator	Tangentbord	Läge
#1	25	40	37	33	Plant
#5	30	45	43	30	Isol
#3	25	45	37	35	Plant
#8	35	62	50	35	Isol
#11	28	45	20	35	Plant
#9	33	52	20	39	Isol
#12	30	50	45	36	Plant
#10	37	64	58	37	Isol

Underlagets inverkan är enligt Tabell 17, Tabell 18 och Tabell 19 mycket stor och märks extra tydligt på datorernas undersidor och transformatorer. Skillnader på upp mot 20°C förekommer. Observera också de stora skillnader som uppkommer då dubbel isolering läggs och skapar de högsta temperaturerna. Isoleringen innesluter till stor del värmeenergin som datorn producerar vilket skapar de höga temperaturerna.

En utveckling till det tidigare förslaget till kommande exjobbare är att se hur stor del av mineralullens påverkan som sker genom blockering av ventilation och hur stor del som kommer sig av dess isolerande egenskaper.

Skillnader datormodeller

Två äldre och större datorer testades, liksom en nyare, mindre (dator 3). Jämförelser för samma försöksupställningar ges nedan i Tabell 20, för de mätpunkter som anses likvärdiga.

Tabell 20 Jämförelse Datorer

	Utsida Batteri	Transformator	Undersida	Dator
0%, plant, öppet	-	36	32	1
	23	44	41	2
	25	37	40	3
100%, plant, öppet	37	42	35	1
	24	49	48	2
	25	37	45	3
0%, isol, öppen	37	44	44	1
	23	50	49	2
	30	43	45	3
100%, isol, öppen	38	61	44	1
(stängd)	(29)	(58)	(56)	2
	35	50	62	3

Generellt sett verkar transformatorn till Dator 2 varmast, samma sak gäller för undersidan. Notera dock undantaget vid försöket med värst förutsättningar, där Dator 3 toppar vad gäller undersidan. Dator 1 verkar klara undersidan bäst. Rörande batterierna verkar batteriet till Dator 1 genomgående varmast. Några slutsatser av denna kolumn bör man dock vara försiktig att dra, med tanke på batteriernas status för Dator 1 och 2 (dålig).

En möjlig slutsats när det kommer till datorernas undersidor är att Dator 3, som var den minsta och nyaste, klarar de lindrigare förutsättningarna relativt bra, men de värsta förutsättningarna sämst. För att säkerställa denna slutsats bör dock, som tidigare nämnts, utförligare försök på fler datormodeller utföras.

För Dator 2 trycktes det på gränserna när de värsta förhållandena (full processor-användning, dubbel isolering) kompletterades med en värmeblåsa i försök #8. Detta försök skulle stressa datorn till ännu högre temperaturer för att se vad som händer.

Resultatet visar att blåsan ökade temperaturerna ytterligare. Yttertemperaturerna steg styvt 10°C medan temperaturen på touchpaden steg med runt 15°C, vilket poängterar vikten av temperaturen på den omgivande luften. Yttertemperaturerna på själva datorn närmade sig 90°C, men det var fortsatt transformatorn som höll sig varmast, nu med en temperatur på 101°C.

Batteriet i datorn förblev under testet intakt, vilket innebär att hypotesen om datorns *batterier* inte stärktes ytterligare. Batteriets tveksamma status gör dock att man inte ska dra för stora växlar av resultatet.

3.6 Sammanfattande riskbild

De flesta av en bärbar dators värmealstrande komponenter sitter på samma ställe, nämligen på moderkortet. Framför allt processorn, men även videokortet, blir varma vid intensivt användande. I och med att nya datorer blir mindre och snabbare komprimeras ännu mer energi på mindre yta.

En enkel värmebalans kan ställas upp för det inre i bärbara datorer. Temperaturen i datorns inre kommer stiga tills dess att värmeutvecklingen från värmealstrande komponenter motsvarar den värme som avges till omgivningen. Då, vid en särskild temperatur, uppnås ett jämviktsläge.

Aktiva och passiva system försöker motverka värmeuppbyggnaden, genom ventilation och bortledning av värme. Dam, blockerade ventilationsöppningar och andra störningar kan dock reducera dessa värmesänkande funktioners effektivitet.

Nyare datorer har inbyggda säkerhetssystem som bryter in när temperaturen blir för hög. Gränsen för vilka temperaturer processorer klarar av ligger generellt sett mellan 60-100°C och det är dessa temperaturer temperaturövervakningssystemen jobbar för att förhindra. Vid eller över dessa kritiska temperaturer finns kortsiktigt risk för systemkrascher och långsiktigt förkortad livslängd på processorn. I extremfall kan processorn bränna ur eller smälta ned på moderkortet.

Datorns plastdelar har dessutom höga antändningstemperaturer, på flera hundra grader. Ofta är plastlejken och kretskort dessutom flamskyddsbehandlade.

De praktiska försöken gav relativt väntade resultat. Högst påverkan för vilka jämviktstemperaturer som uppnås hade underlag och belastning av processor. Också typen av energiförsörjning gör relativt stor skillnad; temperaturerna blir som störst när datorn står på laddning. När underlaget var isolerande och blockerade ventilationsöppningarna blev temperaturerna betydligt högre. Samma sak gäller för processorbelastningen som gav högre

temperaturer vid maxkörning. När det gäller skillnaderna datorerna sinsemellan varierar resultaten beroende på mätpunkt. Fler och utförligare försök behövs.

När det gäller de maximala temperaturer som uppnåddes utan värmefläkt toppade transformatorn för Dator 2 96°C vid sämsta driftsförutsättningarna. Själva datorerna (undersidorna) stannade vid lägre temperaturer, som värst 76°C för Dator 2.

Då värmefläkten adderades till uppställningarna ökades motsvarande temperaturer till 101°C samt 87°C.

Tabell 21 Temperaturer för spontan antändning utan närvaro av pilotlåga

Ämne	Auto-ignition T [°C]
Tidningspapper	175
Läder	212
Kol	240-280
Ull	250
Brännved	280
Trä	280-340
Skrivarpapper	360
Bomull	450
PVC	430-560
Polyuretan	416

Dessa temperaturer har en bra bit kvar tills dess ett eventuellt underlag kan spontanantända utan närvaro av pilotlåga. Typiska *auto-ignition*-temperaturer för olika ämnen ges ovan i Tabell 21 och som kan ses ligger de betydligt högre än de temperaturer som försöken resulterade i. (Engineering Toolbox)(EconomyPoint)(Cafe, 2007)

Temperaturer på processorn har rapporterats så höga som runt 108°C (MoreBusiness, 2000). Inte heller denna temperatur kommer nära de siffror som angetts i tabellen ovan. Då är det dessutom så att det gäller just temperaturen på processorn, inkaplad i datorn, och inte datorns hölje som ju är det som kommer i kontakt med omgivningen. Att en bärbar dator genom endast värmeutveckling från processorn skulle antända omgivande material ses därför som ytterst osannolikt.

Frånvaron av incidenter i fallstudien är också ett värdefullt resultat. Det skulle kunna indikera flera saker:

- .. att problem som orsakats av överhettande processorer inte existerar mer än att datorerna stänger av sig, eventuellt skadas lättare.
- ... att följderna stannar vid smälta komponenter, som inte orsakar öppen brand och då inte heller föranleder en räddningsinsats. Då syns fallen heller inte i statistiken.

Gemensamt för de ovan nämnda alternativen är att problemet inte torde vara av särskilt stor dignitet.

4 Hypotes 3 – Andra enskilda komponenter

I detta kapitel testas Hypotes 3: *Andra enskilda komponenter i bärbara datorer kan orsaka bränder.*

4.1 Metod

Hypotes 3 testas genom litteratur- och fallstudie. Sist i kapitlet sammanfattas de ingående delarna, vilket kommer ligga till grund för om hypotesen kan stärkas eller ej.

4.1.1 Metod litteraturstudie

Inledningsvis studeras det underlag som Ulf Erlandsson bidragit med. Tillsammans med läsning från föregående hypotesers litteratursök ges en bild av vilka komponenter förutom batteri och processor som verkar vara extra utsatta.

Därefter söks internet av med hjälp av Google. Sökorden blir ”laptop adapter melt”, ”Netbook adapter”, ”bärbar dator smält”, ”kondensator rök”, ”kondensator brand”, ”capacitor laptop fire”, ”transformer laptop fire”.

Sökning görs slutligen i LibHub, ”Laptop capacitor fire”, ”laptop capacitor smoke”, ”netbook capacitor smoke”, ”netbook capacitor fire”, ”laptop adapter fire”, ”laptop adapter melt”.

4.1.2 Metod Fallstudie

Framför allt spåras händelser via RIB och Ulf Erlandssons underlag, men också via de sökningar som gjorts till litteraturstudien ovan. De händelser plockas ur där man genom utredning slutit sig till att en av datorns komponenter, annat än batteri och processor, orsakat en incident. RIB söks av med sökordet ”dator”. Resultaten sällas därefter efter orsak.

Även händelser från stationära datorer tas med om de anses av särskilt intresse.

4.2 Litteraturstudie

Resultatet från litteraturstudien blir ganska magert. Huvudproblematiken med bärbara datorer verkar kretsa kring batteri och processor. Relativt mycket när det gäller andra komponenter verkar dock kretsa kring kondensatorer och transformatorer.

En kondensator är en elektrisk komponent som kan laddas upp, precis som ett batteri, och en kortare stund kan fungera som spänningskälla med hög effekt (Widlund, 2009).

Just problemet med kondensatorer tas upp särskilt i en skrift om brandutredning från MSB (Widlund, 2009), där fenomenet med *övertoner* betonas som en stark bakomliggande orsak till problemen. Bland annat datorer tillhör en grupp med elektriska apparater som kallas *olinjära*, som endast förbrukar ström under en del av sinusperioden i strömförsörjningen. Följden blir att strömmar i andra, högre frekvenser än 50 Hz (grundtonen) kommer att bildas, s.k. övertoner. Kondensatorer anges som särskilt känsliga mot övertoner eftersom dessa kan orsaka högre strömmar genom kondensatorn än vad den klarar av. Följden kan bli att kondensatorn går sönder i en liten explosion.

Det kan också i en kondensator bli ett genomslag mellan olika folielager, vilket leder till värmeutveckling. Isoleringen riskerar då försvinna, trycket öka och kondensatorhöljet försvinna. Följden blir ungefär som den kan bli då ett batteri upphettas, nämligen att den brännbara och heta elektrolyten från kondensatorns inre kan rinna ut ur kondensatorns inre och orsaka brand.

Syftet med en transformator/adapter är att omvandla strömmen från eluttaget i väggen till en ström som passar en elektrisk apparat, exempelvis en bärbar dator eller en skrivbordslampa. Anpassandet sker i två steg. Först ändras volttalet från vägguttagets 120 volt ner till det för apparaten önskade volttalet. Därefter omvandlas växelströmmen till likström (Friedman, 2010). Under denna omvandling uppstår värme som kan göra transformatorn het.

Från Amerikanska CPSC:s (som arbetar för konsumenternas säkerhet) hemsida kan man leta upp olika produkter som återkallats, däribland adapterar/transformatorer (CPSC, 2011). Farorna som anges är till viss del olika, från att adaptern riskerar smälta och orsaka brännskador, till risk för faktiska bränder. Bland de drygt 500 incidenter som ligger till grund för ett av återkallandena uppges 53 ha orsakat smältning och en handfull orsakat mindre brännskador. Helhetsbilden, när man inkluderar incidenter från andra återkallanden, gör gällande att utvecklade bränder är ytterst sällsynta, men förekommer. Annars rör det sig i de flesta fall alltså om att adaptern smälter.

4.3 Fallstudier

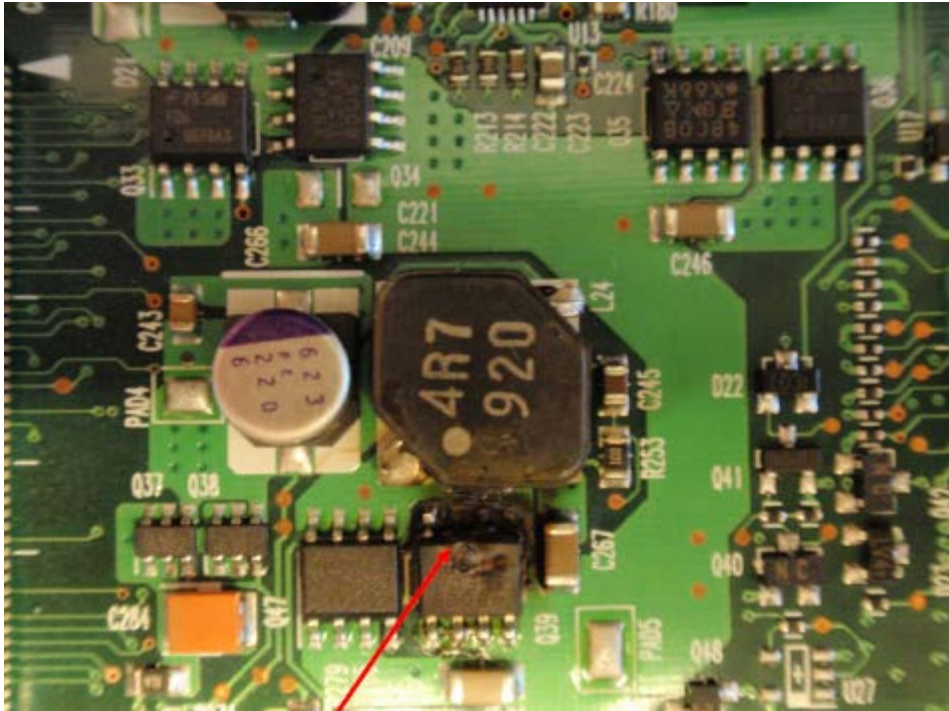
Steg två i hypotesprövningen om andra komponenter än batteri och processor i bärbara datorer utgörs av fallstudier. Incidenter som föranlett räddningsinsats eller uppmärksammats på annat sätt är tänkt att komplettera litteraturstudien till en slutsats.

4.3.1 Hallsberg 2010

En händelse som involverade en enskild komponent på kretskortet inträffade i Hallsberg 2010. Under förberedelser för en utbildning, som bland annat använde sig av en bildkanon, upptäcktes att det började ryka från den bärbara dator som användes (stod på ett plant underlag). Rökutvecklingen upphörde då datorn kopplades från bildkanon och stängdes av.

På Nerikes Brandkår plockades datorn isär för att försöka lokalisera orsaken till rökutvecklingen. Efter att ha skalat av flera lager fann man att en komponent på kretskortet uppvisade brännskador, se Figur 13, dock var orsaken till skadorna okänd. Kontakter med datakunniga gav en del uppslag till möjliga orsaker, men inget som kunde säkerställas (lödning som skadats i samband med transport, strömspik, fukt, överledning).

Man konstaterar i varje fall att överhettning inte var orsaken till denna incident. Datorns relativt höga ålder kan möjligen ha spelat in. (Nordin, 2010)



Figur 13 Den delvis smälta komponenten från Hallsberg. Reproducerad med tillstånd (Nordin, 2010).

4.3.2 Karlstad 2008

En incident inträffade också på Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap 2008. En datorskärm (till en stationär dator) hamnade i en loop och stängdes av för omstart. Efter en kort stund strömmar det då ut rök i överkant på skärmen och det sprider sig en tydlig doft av brända plastkemikalier.

Skärmen togs omhand och skickades till SKL för utlåtande. Svaret (Erikson, 2008) pekar på att två transistorer, del i en komponent som stod för skärmens bakgrundsbelysning, hade smält och till viss del förångats. Om orsaken till incidenten var fel på någon av transistorerna eller om något annat i skärmen varit orsaken gick tyvärr inte att avgöra.

Intressant är dock en kommentar i utlåtandet att risken för att de överhettade transistorerna skulle ha kunnat utveckla en brand inte bedöms vara så stor.

4.3.3 Kondensatorer

Flera incidenter rörande bildskärmarna till stationära datorer har rapporterats. Då rör det sig alltså inte om bärbara datorer, men frågan är om problematiken inte är överförbar.

Ett av de ställen som känt av problematiken med skärmar är MSB:s skola i Revinge. Det gick så långt att man 2011 beslutade byta ut alla skärmar av en viss aktuell typ. Då hade man haft rökutveckling från fyra skärmar av samma fabrikat på relativt kort tid. En av MSB:s IT-tekniker (Borgström, 2011) beskriver förloppet som att det uppstod en rökpuff följt av en stark lukt, signifikativt för elektriska bränder. Han betonade att det alltså inte uppstått några bränder med öppen låga.

Vidare ansåg IT-teknikern att situationen var mindre sannolik att inträffa när det gäller bärbara datorer. Kondensatorn sitter förmodligen placerad på moderkortet och utsätts inte för fullt samma strömstyrkor, vilket skulle minska risken.

Ett annat fall rör en stationär dator på en av landets brandstationer. Pågående personal kände röklukt som visade sig komma från brandmännens datarum. Den aktuella datorn kopplades ur och undersöktes. Det visade sig att en fläkt som ventilerade kretskortet som

styr inkommande ström hade stannat, på grund av damm- och fettavlagringar. Hela kretskortet var värmepåverkat, speciellt en kondensator som blivit för varm och utvecklat brännbara gaser. Utredaren konstaterade att det visserligen inte brunnit, men att det inte var långt ifrån (Åkerstedt, RIB XM).

Problemet med kondensatorer är inte begränsat endast till datorer. Bland de fall som studerades finns också exempel rörande TV-apparater och fjärrkontroller. Rörande något äldre TV-apparater kan problemen bli allvarigare, då kretskort och centrala komponenter är uppbyggda av flamskyddad plast, medan exempelvis bakstycken inte har detta inbyggda skydd. Datorer är, som tidigare nämnts, allt som oftast byggda med grund i flamskyddat material.

4.3.4 Strömförsörjning

I stationära datorer är det det inbyggda nätaggregatet som förser de energikrävande komponenterna med ström. Nätaggregat brukar bli varma vid användande och kräver kylning. På bärbara datorer är inte nätaggregatet inbyggt utan sitter monterat på sladden mellan vägguttaget och datorn, den s.k. transformatorn. Komponenterna har liknande problem med att bli överhettade.

I en händelse ur RIB XM (Ringqvist, RIB XM) beskrivs en brand i ett radhusområde i två våningsplan. Efter inringt larm möts räddningsstyrkor av en rökfylld övervåning och en mindre brand. I undersökningen pekar brandbilden på brandstart i en *stationär* dator, mer specifikt i nätaggregatet som visar en tydlig värmepåverkan och nedsmältning, se Figur 14.



Figur 14 Brandbild stationär dator, brand i nätaggregat. Reproducerad med tillstånd (Ringqvist).

Fall som rör transformatorn till bärbara datorer (motsvarande nätaggregatet) är svårare att hitta. Detta kan delvis bero på att följden av överhettning blir att transformatorn smälter samman, varpå strömmen bryts. Om följderna inte blir fullt så allvarliga görs kanske heller ingen insats av räddningstjänsten och då syns inte incidenten i insatsrapporter eller utredningar. Att följderna blir mindre är bilden som ges då diverse datorforum på internet studerats.

I en tidigare nämnd brandutredningsskrift (Widlund, 2009) återfinns viss statistik om brandtillbud i transformatorer. När det gäller brand i bostad redovisades 2007 strax över

dussinet händelser som anses ha transformator som start. Dock nämns inget om vilka följer incidenterna givit (utvecklad brand/smältning/rökutveckling).

I boken finns också åskådliggjort statistik för alla bränder. Att inte statistik härifrån återges beror på att där troligen finns med relativt många bränder från större transformatorstationer, vilket ju inte är det som söks.

En händelse från Pennsylvania, USA återfanns på internet (HelensburghAdvertiser, 2010). En transformator till en bärbar dator, som för tillfället var under användande, lät plötsligt höra ett kort sprakande ljud, varpå gnistor från transformatorn antände sängen den befann sig på. De drabbade försökte efter en stund sig på ett eget släckförsök innan man slutligen fick hjälp från den lokala räddningstjänsten, då branden tilltagit.

Diverse forum på Internet har smälta adapttrar/transformatorer som ämne, men källvärdet på dessa anses så lågt att de inte tas upp.

4.4 Sammanfattande riskbild

På det hela taget verkar datorns andra komponenter än batteri och processor relativt harmlösa när det kommer till de följer som eventuella incidenter får. I de allra flesta fall stannar olycksförloppen vid smältning eller rökutveckling, alltså inga utvecklade bränder. Dock går det inte att bortse från de ytterst få fall där kortslutningar och andra problem lett till antändning; det finns alltså en konstaterad (men liten) risk för brand när det gäller de bärbara datorernas transformatorer. Statistiken från CPSC när det gäller transformatorer man försökt återkalla talar för detta.

Kondensatorproblemen kvarstår, men verkar som nämnts stanna vid rökutveckling och smältning. Problemet verkar dessutom mest vara ett problem som rör bildskärmarna hos stationära datorer, där det rör sig om andra, starkare strömmar jämfört med bärbara datorer. Samtliga händelser som redovisats rör stationära datorer, inga händelser har funnits som tyder på att det är ett problem hos bärbara.

5 Slutsatser

I detta kapitel sammanfattas hypotesprövningarnas delar för att ge en samlad bild av huruvida hypoteserna kan stärkas eller ej.

5.1 Hypotes 1 - Batterier

Moderna batterier har en mängd säkerhetssystem, som ska skydda mot bland annat kortslutning, överladdning och underladdning. Systemen är omfattande, men kan slås ut av statisk elektricitet eller interna fel. Sannolikheten för detta är mycket låg, men existerar. Inre kortslutningar är särskilt svåra att skydda mot och kan resultera i stegrande temperatur inuti batteriet.

Yttre tillförd värme, våld, slitage, överladdning eller kortslutning är exempel på aktiviteter som när säkerhetssystemen felar kan höja batteriets inre temperatur tillräckligt för att starta *thermal runaway*. Vid detta fenomen avger kemiska exoterma reaktioner i batteriets inre mer energi än vad som kan ledas bort, resulterande i att batteriets temperatur rusar iväg. Följden av detta kan bli att batteriet brister eller att säkerhetsventilen löser i en explosion av brännbar het vätska, en stor brandfara.

Risken ökar ju längre från avsett användningsområde man kommer. Blockerad ventilation, felaktiga laddare, andra batterier än original är ett par av de faktorer som höjer risken för ett brandtillbud.

Ett antal incidenter som fått stora konsekvenser har utretts grundligt, däribland Staffanstorpsbranden från 2009 med 5 avlidna. Utlåtanden från SKL, polis- och brandutredningar pekar i detta och flera andra fall i samma riktning, nämligen på batterierna!

Hypotes 1 - *Batterier i bärbara datorer kan orsaka bränder* anses **kraftigt stärkt**, detta med bakgrund i ovan nämnda sammanfattning och tidigare avsnitts mer utförliga utredning. Flera teoretiska riskscenarier har kunnat beskrivas och kompletteras med faktiska händelser, vilket starkt talar för att risken i högsta grad existerar.

Nämnas bör att trots att hypotesen stärkts är sannolikheten för allvarliga tillbud mycket liten.

5.2 Hypotes 2 - Processorer

Processorn, som återfinns på den bärbara datorns moderkort, är en av datorns största källor till värmeutveckling. Den kyls, tillsammans med andra värmealstrande komponenter, vanligtvis av datorns fläktssystem, ibland kompletterat med en så kallad *heat sink*. En enkel värmebalans för datorn gör gällande att temperaturen i datorns inre kommer stiga tills dess att den energi som tillförs av (bland annat) processorn motsvarar den energi som datorns kylsystem för bort. När delarna är lika stora uppnås en jämviktstemperatur.

Nyare datorer har inbyggda säkerhetssystem som bryter in när temperaturen blir för hög. Gränsen för vilka temperaturer processorer klarar av ligger generellt sett mellan 60-100°C och det är dessa temperaturer temperaturövervakningssystemen jobbar för att förhindra. Vid eller över dessa kritiska temperaturer finns kortsiktigt risk för systemkrascher och långsiktigt förkortad livslängd på processorn. I extremfall kan processorn bränna ur eller smälta ned på moderkortet.

De test som gjorts visar att hög belastning och isolerande, ventilationshämmande underlag ger högst temperaturer, liksom då datorn befinner sig under laddning. Vid ett extremtest, då datorn körs för fullt mellan två isoleringsskivor och tillförs varm luft från en värmefläkt, uppnås yttre temperaturer som mest på strax över 100°C. Då är det ändå en bred marginal upp

till spontana antändningstemperaturer för tänkbara underlag som ligger på 175°C och uppåt. Datorns plastdelar har betydligt högre antändningstemperaturer, på flera hundra grader.

Fallstudien blev väldigt kort, eftersom det inte gick att hitta några brandtillbud där processorvärme ansetts vara orsaken. Detta tyder på att incidenterna om de ändå inträffar får relativt små konsekvenser, som mest kanske viss rökutveckling och nedsatt prestanda.

Hypotes 2 - *Processorer i bärbara datorer kan orsaka bränder* kan med resultatet av efterforskningarna i åtanke **inte stärkas**. Frånvaron av incidenter och resultatet från experimenten pekar båda i denna riktning.

Nämnas i detta fall bör dock att värmeutvecklingen som ändå uppkommer bidrar till problemen med batterierna i hypotes 1. I många av de fall som togs med till hypotes 1 rörde det sig om datorer som på ett eller annat sätt fått sin ventilation förhindrad.

5.3 Hypotes 3 – Andra komponenter

Litteraturstudien indikerar tillsammans med material från en tidigare brandutredare på MSB att kondensatorer och transformatorer är de komponenter som innebär störst risk för incidenter. Det vanliga i dessa fall verkar vara att förloppet stannar vid rökutveckling och kraftig lukt, men i extremfall kan det bli värre.

När det gäller transformatorer kan de i vissa fall utveckla stora värmemängder och kortsluta och/eller smälta. Fallstudien nämner förekomsten av ett fåtal fall (inget av vilka i Sverige) där felande transformatorer orsakat öppen brand, vilket inte går att bortse från.

Kondensatorer å sin sida har varit inblandad i ett flertal incidenter i Sverige, vilket fallstudien visar. Då rör det sig dock om stationära datorer och dess skärmar och inget faktiskt fall har kunnat hittas rörande en bärbar dator. Utlåtande från en IT-tekniker på MSB pekar på att risken borde vara betydligt mycket mindre när det handlar om bärbara datorer.

Hypotes 3 - *Andra enskilda komponenter i bärbara datorer kan orsaka bränder* kan med resultatet av efterforskningarna **svagt stärkas** när det gäller transformatorer, dock **inte stärkas** när det gäller kondensatorer.

5.4 Övriga slutsatser

Om de synergiska effekterna när det gäller batterierna har det nämnts en del. Ett möjligt sätt att illustrera problematiken på är att se till ett batteris totala energinivå. När denna nivå uppnår en viss summa kan en reaktion uppstå som kan sluta med explosion.

Bidragen till denna totalsumma varierar med exempelvis laddningsgrad, om batteriet tillförs energi under laddning eller om den tillförs energi utifrån (t.ex. värme från processorn). När en dator står och laddar på ett isolerande underlag befinner den alltså sig på en högre energinivå än en dator som inte laddar och står på ett fast underlag. Den har då närmre till den farliga energinivån och befinner sig under högre risk för reaktion.

Källförteckning

- American Airlines. (2008). *American Airlines Restricted Items Information*. Hämtat från American Airlines: <http://www.aa.com/i18n/travelInformation/baggage/restrictedArticles.jsp> den 07 01 2011
- Backman, J. (2008). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur.
- Batteriföreningen. (2009). *Uppbyggnad av litiumjoncellen*. Hämtat från Batteriföreningen: <http://www.batteriforeningen.se/laddningsbara/litium-jon/uppbyggnad-av-litiumjoncellen---litiumjonbatterier/> den 25 01 2010
- Borgström, T. (den 04 04 2011). Telefonsamtal. (O. Andersson, Intervjuare)
- Buchmann, I. (September 2006). *Safety Circuits for modern batteries*. Hämtat från BatteryUniversity: <http://batteryuniversity.com/partone-10.htm> den 26 01 2011
- Butcher, D. (den 21 Augusti 2006). Dell Recalls Laptop Batteries Due to Fire Risk. *Travel Agent*, ss. 10-12.
- Cafe, T. (den 17 Juni 2007). *Physical constants for investigators*. Hämtat från T.C. Forensic: <http://www.tcforensic.com.au/docs/article10.html#2.1> den 07 02 2011
- Chen, Y.-S., Hu, C.-C., & Li, Y.-Y. (den 15 Juni 2008). The importance of heat evolution during the overcharge process and the protection mechanism of electrolyte additives for prismatic lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, ss. 69-73.
- CPSC. (den 8 April 2011). *Results for "adapter laptop"*. Hämtat från US Consumer Product Safety Commission: <http://search.cpsc.gov/query.html?qt=adapter+laptop&charset=iso-8859-1&col=intl&col=pubweb&col=poolgov&col=atvgov> den 08 04 2011
- CPSC. (den 1 Juli 2010). *Tekkeon Inc. Recalls MyPower ALL Plus External Laptop Batteries Due to Fire Hazard*. Hämtat från U.S. Consumer Product Safety Commission: <http://www.cpsc.gov/CPSCPUB/PREREL/prhtml10/10744.html> den 01 02 2011
- Dade, C., & Johnson, A. (den 21 September 2006). Some Batteries In Laptops Face Airline Ban. *Wall Street Journal - Eastern Edition*, ss. D1-D4.
- EconomyPoint. (u.d.). *Ignition temperature*. Hämtat från Economypoint: <http://www.economypoint.org/i/ignition-temperature.html> den 07 02 2011
- Ejvegård, R. (2003). *Vetenskaplig metod*. Lund: Studentlitteratur.
- Electropaedia. (u.d.). *Battery Protection Methods*. Hämtat från mpoweruk.com: <http://www.mpoweruk.com/protection.htm> den 26 01 2011
- Electropaedia. (u.d.). *Battery Safety*. Hämtat från mpoweruk.com: <http://www.mpoweruk.com/safety.htm> den 26 01 2011
- eMachines. (2009). *eMachines eM250 User Guide*. eMachines.
- Engineering Toolbox. (u.d.). *Fuels and Chemicals - Auto Ignition Temperatures*. Hämtat från The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-ignition-temperatures-d_171.html den 07 02 2011

- Erikson, T. (2008). *Sakkunnigutlåtande 2008012799*. Linköping: Statens kriminaltekniska Laboratorium.
- Erikson, T. (2010). *Sakkunnigutlåtande 2010001608*. Linköping: Statens Kriminaltekniska Laboratorium.
- Friedman, J. (den 3 September 2010). *What is the function of an AC adapter?* Hämtat från eHow: http://www.ehow.com/facts_6895886_function-ac-adapter_.html den 19 04 2011
- Gedgaud, J. (den 16 November 2005). *The heat problem with notebooks*. Hämtat från Associated Content: http://www.associatedcontent.com/article/11772/the_heat_problem_with_notebooks_pg2.html?cat=15 den 24 01 2011
- HelensburghAdvertiser. (den 2 December 2010). *HelensburghAdvertiser*. Hämtat från Laptop Fire Drama: <http://www.helensburghadvertiser.co.uk/news/roundup/articles/2010/12/02/407867-laptop-fire-drama/> den 19 04 2011
- Intel. (den 24 Februari 2008). *Processors - Thermal management for notebook computers*. Hämtat från Intel: [http://www.intel.com/support/processors/sb/CS-028869.htm?wapkw=\(thermal+management\)](http://www.intel.com/support/processors/sb/CS-028869.htm?wapkw=(thermal+management)) den 24 01 2010
- Johansson, N. (2010). *Förstudie - Bränder i datorer*. Lund: Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Khavar, C. (den 28 Juli 2009). *Rinkebybranden krävde ännu ett offer - Ekot*. Hämtat från Sveriges Radio: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=83&artikel=2996271> den 17 Januari 2011
- Kim, S., Lee, Y. S., Lee, H. S., & Jin, H. L. (Maj 2010). A study on the behavior of a cylindrical type Li-Ion secondary battery under abnormal conditions. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, ss. 378-385.
- Krazit, T. (den 25 Augusti 2006). *Panasonic joins notebook battery recall*. Hämtat från CNET News: http://news.cnet.com/Panasonic-joins-notebook-battery-recall/2100-1041_3-6112395.html den 20 01 2011
- Köhler, N. (den 18 Oktober 200). *Flamskyddsmedel kan tas bort i datorer*. Hämtat från NyTeknik: http://www.nyteknik.se/nyheter/it_telekom/allmant/article11667.ece den 24 01 2011
- Ljungqvist, M. (2009). *Brandorsaksundersökningsprotokoll K139584-09*. Helsingborg: Polismyndigheten Skåne Län.
- Moltzen, E. F. (den 19 September 2006). *UPDATE: Toshiba To Recall 340,000 Batteries*. Hämtat från CRN: http://www.crn.com/news/components-peripherals/193003327/update-toshiba-to-recall-340-000-batteries.htm?sessionid=47LtkRk73HVv4TeCW63w**.ecappj03 den 03 02 2011
- MoreBusiness. (den 17 Januari 2000). *Laptop Heat: Preventing Laptop Overheating*. Hämtat från MoreBusiness.com: http://www.morebusiness.com/running_your_business/technology/d935705450.brc den 03 02 2011

- Moscàn, M. (2006). *Insatsrapport 200600015*. Karlshamn: Räddningstjänsten Västra Blekinge.
- Nordin, J. (2010). *Utredning beträffande tillbud med bärbar dator*. Örebro: Nerikes brandkår.
- NyTeknik. (den 29 Augusti 2006). *De gör säkrare batterier*. Hämtat från NyTeknik: http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article248549.ece den 09 02 2011
- Ohlsson, C. (2009). *Sakkunnigutlåtande 2009013143*. Linköping: Statens kriminaltekniska Laboratorium.
- Ohsaki, T., Kishi, T., Kuboki, T., Takami, N., Shimura, N., Sato, Y., o.a. (den 26 Augusti 2005). Overcharge reaction of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources* , ss. 97-100.
- OKit. (u.d.). *Batterifakta om batterier för bärbara datorer*. Hämtat från OKit.se: <http://shop.okit.se/batterifakta.php> den 26 01 2011
- PantherProducts. (u.d.). *CPU Macimum Temperatures*. Hämtat från Panther Products: <http://www.pantherproducts.co.uk/Articles/CPU/CPU%20Temperatures.shtml> den 24 01 2010
- Pettersson, S. (2009). *Brandutredning - Undersökningsprotokoll Dnr 450.2009.00415*. Uppsala: Uppsala Brandförsvär.
- Pistoia, G. (2005). *Batteries for portable devices*. Rom: Elsevier.
- Popular Electronics. (Augusti 1998). In-flight fire risk? *Popular Electronics* , s. 26.
- radiolocman. (den 13 Juli 2010). *Keep An Eye On Temperature Trends During Li-ion Battery Charge And Discharge Cycles*. Hämtat från radiolocman.com: <http://www.radiolocman.com/review/article.html?di=65479> den 08 04 2011
- Reichert, T. (2010). *Undersökningsprotokoll - Brandutredning 2010/011-MBR-197*. Västerås: Mälardalens brand- och Räddningsförbund.
- Ringqvist, Per. *Brand i dator*. Brandutredning hämtad ur RIB XM - Insatsrapporter, programvara från MSB 2011-04-01.
- Roberts, P. F. (den 21 Augusti 2006). Dell recall an enterprise headache. *InfoWorld* , s. 11.
- Räddningstjänsten Lomma - Staffanstorp. (2009). *Insatsrapport 1200-K139584-09*. Staffanstorp: Räddningstjänsten Lomma - Staffanstorp.
- Sabbas, A. (den 3 Oktober 2006). Lenovo and IBM recall batteries. *Computer Weekly* , s. 19.
- Sony . (den 25 Augusti 2006). *Statement Regarding Sony's Support of Apple's Recall of Lithium Ion Battery Packs Used in Apple Notebook Computers*. Hämtat från Sony Global: <http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200608/06-0825E/index.html> den 26 01 2011
- Spotnitz, R., & Franklin, J. (den 1 Januari 2003). Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells. *Journal of Power Sources* , ss. 81-100.

Stoller, G. (den 16 Augusti 2010). *Are lithium-ion batteries the next threat to airline safety?* Hämtat från USATODAY.com: http://www.usatoday.com/money/industries/travel/2010-08-16-airlinebatteries16_CV_N.htm den 21 Januari 2011

Städje, J. (den 2 September 2008). *Mikrodatorkonstruktion i praktiken*. Hämtat från Techworld: <http://techworld.idg.se/2.2524/1.171620> den 21 Mars 2011.

Tabaddor, M., Wu, A., Jeevarajan, J. A., Jones, H., & Chapin, J. T. (2010). *SAFETY TESTING OF LITHIUM-ION BATTERIES*. Northbrook & Houston.

Uchida, I., Ishikawa, H., Mohamedi, M., & Umeda, M. (den 1 Juni 2003). AC-impedance measurements during thermal runaway process in several lithium/polymer batteries . *Journal of Power Sources* , ss. 821-825.

Ulanoff, L. (den 1 Februari 2007). *Sonata Unveils Safer, Faster Laptop Batteries*. Hämtat från PCMag.com: <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2089272,00.asp> den 09 02 2011

Wahling, Kjell. *Brand i villa*. Brandutredning hämtad ur RIB XM – Insatsrapporter, programvara från MSB 2011-04-01.

Valdes, R., & Wilson, T. V. (u.d.). *Laptop batteries*. Hämtat från HowStuffWorks: <http://communication.howstuffworks.com/laptop4.htm> den 17 01 2011

Wallerius, A. (den 29 Augusti 2006). De gör säkrare batterier. *Ny Teknik* .

VARBusiness. (den 8 Januari 2007). Panasonic develops safer laptop batteries. *VARBusiness* , s. 22.

Webster, H. (2010). *Fire Protection for the Shipment of Lithium Batteries in Aircraft Cargo Compartments*. Washington: Federal Aviation Administration.

Westergren, A. (den 20 Augusti 2005). Christians dator exploderade när den laddades. *Smålandsposten* .

Widlund, D. (2009). *Elektricitet och bränder, med inriktning på brandutredning*. Karlstad: Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap.

Wildstrom, S. H. (den 11 September 2006). The truth about fiery laptops. *BusinessWeek* , s. 20.

Williams, M. (den 31 Oktober 2008). http://www.pcworld.com/businesscenter/article/153110/hp_dell_toshiba_recall_sony_laptop_batteries_again.html. Hämtat från PCWorld: http://www.pcworld.com/businesscenter/article/153110/hp_dell_toshiba_recall_sony_laptop_batteries_again.html den 20 01 2011

Wilson, T. V. (u.d.). *What causes laptop batteries to overheat?* Hämtat från HowStuffWorks: <http://computer.howstuffworks.com/dell-battery-fire.htm> den 26 01 2011

Värend's Räddningstjänst. (2005). *Insatsrapport 2005/00728*. Växjö: Värend's Räddningstjänst.

Yoshio, M., Brodd, R. J., & Kozawa, A. (2009). *Lithium-Ion Batteries - Science and technology*. Springer Science + Business Media.

Åkerstedt, Rolf. *Brand i dators fläktrum*. Brandutredning hämtad ur RIB XM – Insatsrapporter, programvara från MSB 2011-04-01.

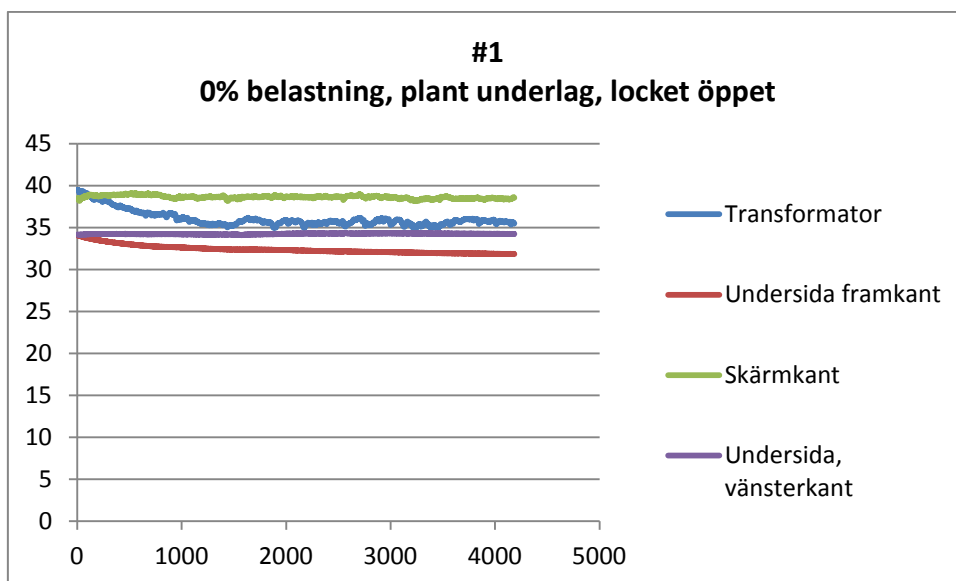
Bilaga A – Temperaturkurvor från försöken

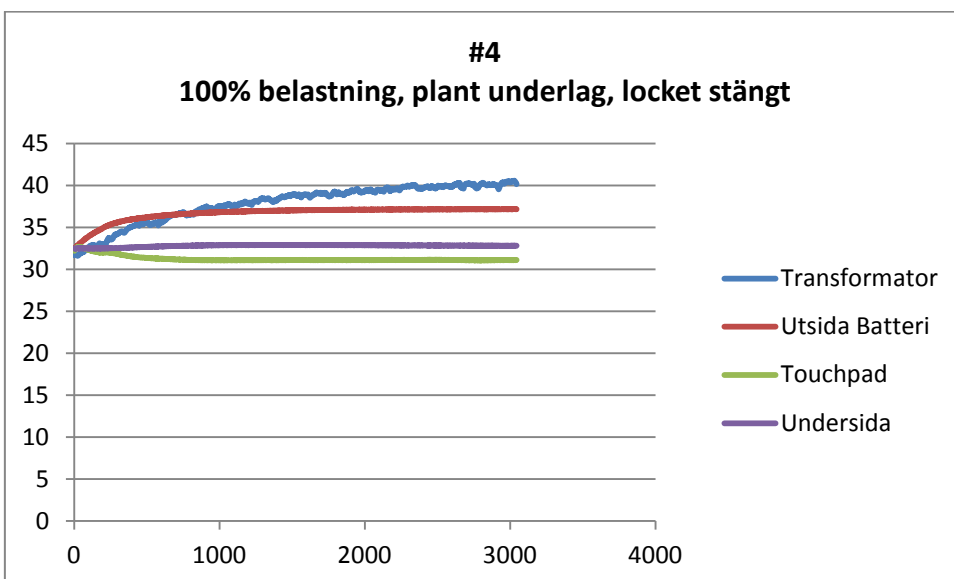
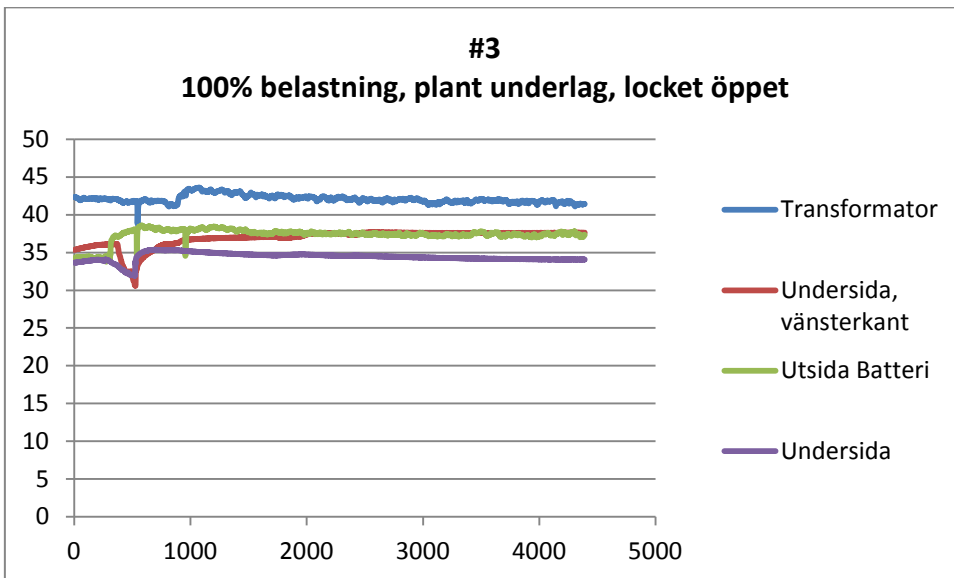
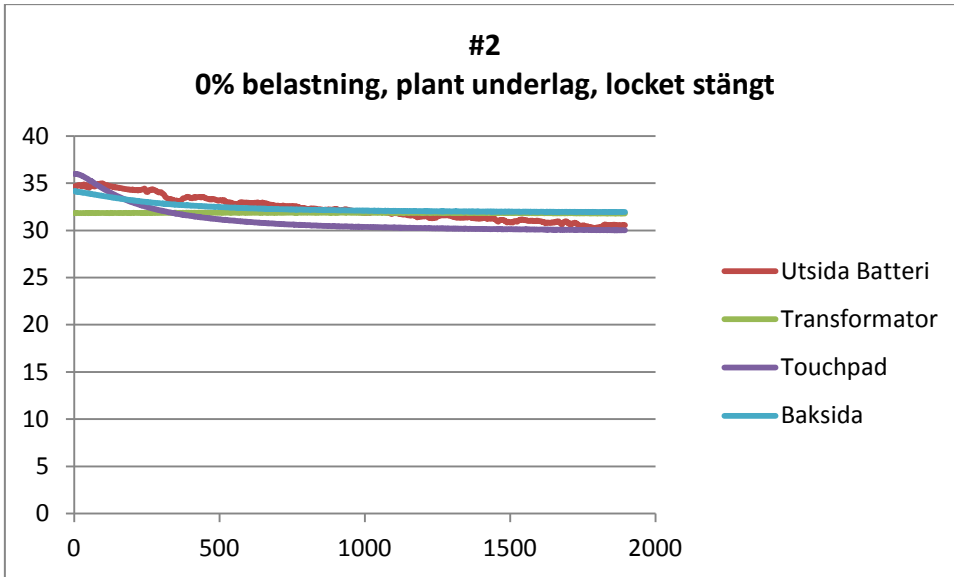
Här i bilaga A ges de kurvor som visar värmeutvecklingen i bärbara datorer, så som beskrivits i avsnitt 3.1.2. Kurvorna sorteras efter vilken dator det var som testades, så att jämförelser kan göras för olika förutsättningar på samma dator.

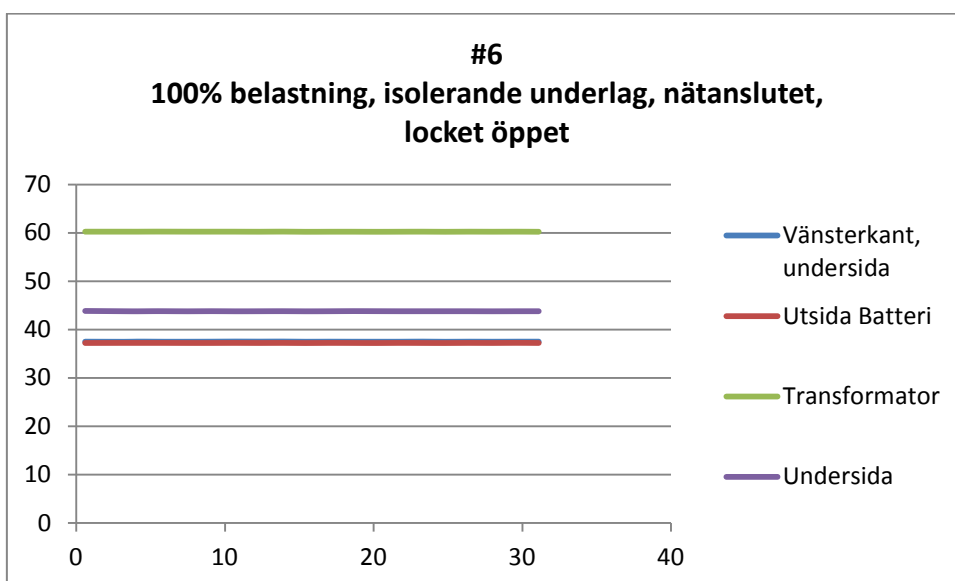
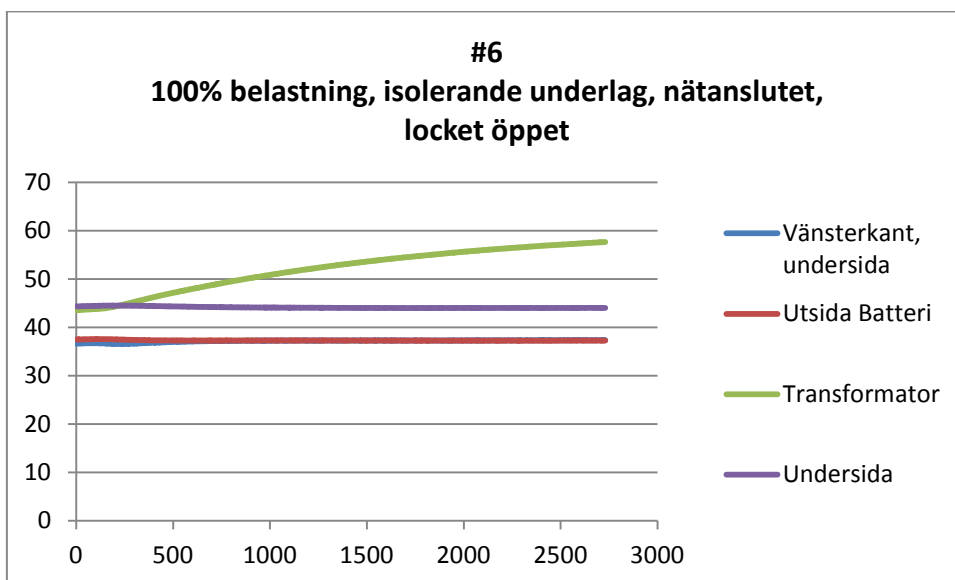
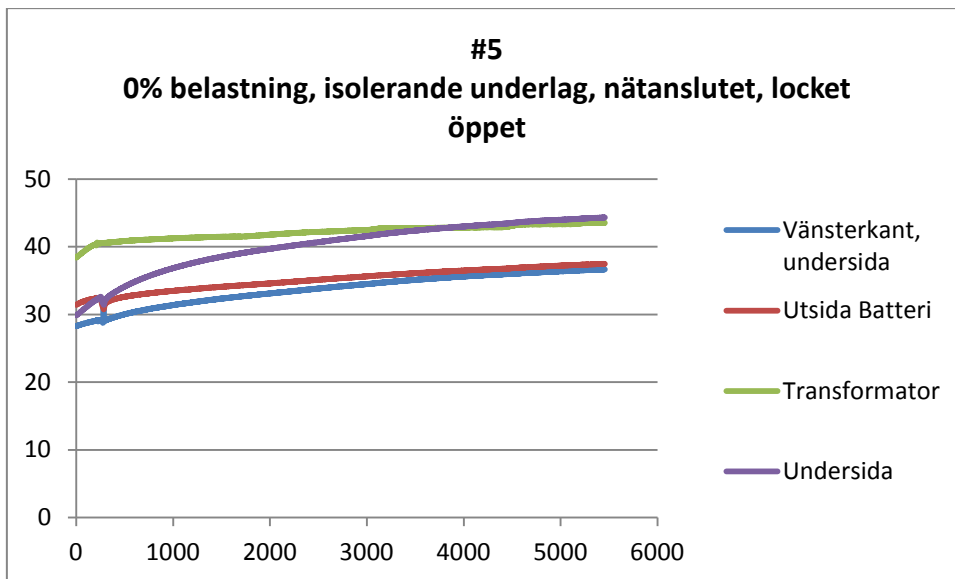
I samtliga tabeller och figurer anges tiderna (på x-axlarna) i sekunder och temperaturerna (på y-axlarna) i Celsius. Själva tiderna ska inte tas på alltför stort allvar, då mätningarna för olika förutsättningar genomfördes i serie och alltså inte från datorns startläge. Målet har varit att se vid vilka temperaturer ett stationärt läge infinner sig, inte efter hur lång tid.

Dator 1

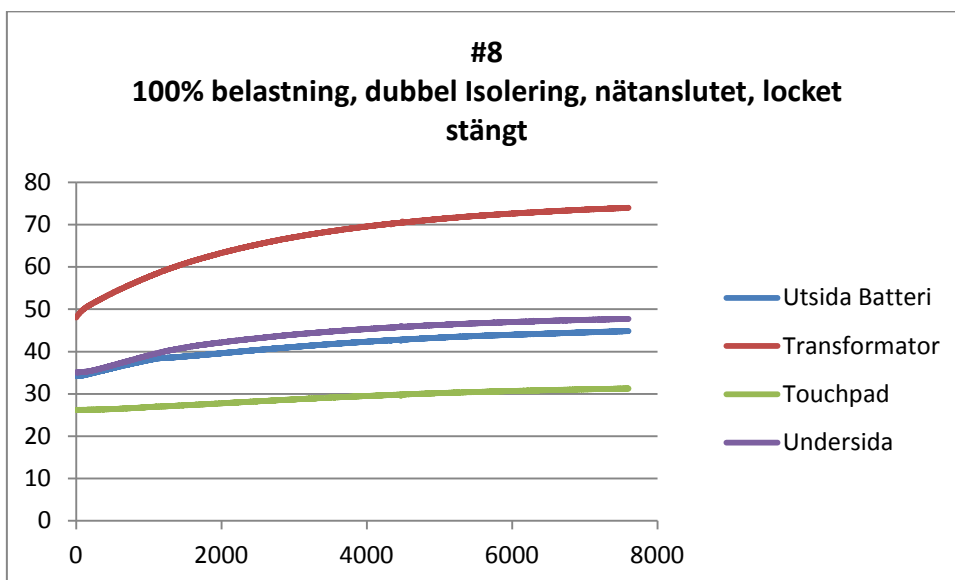
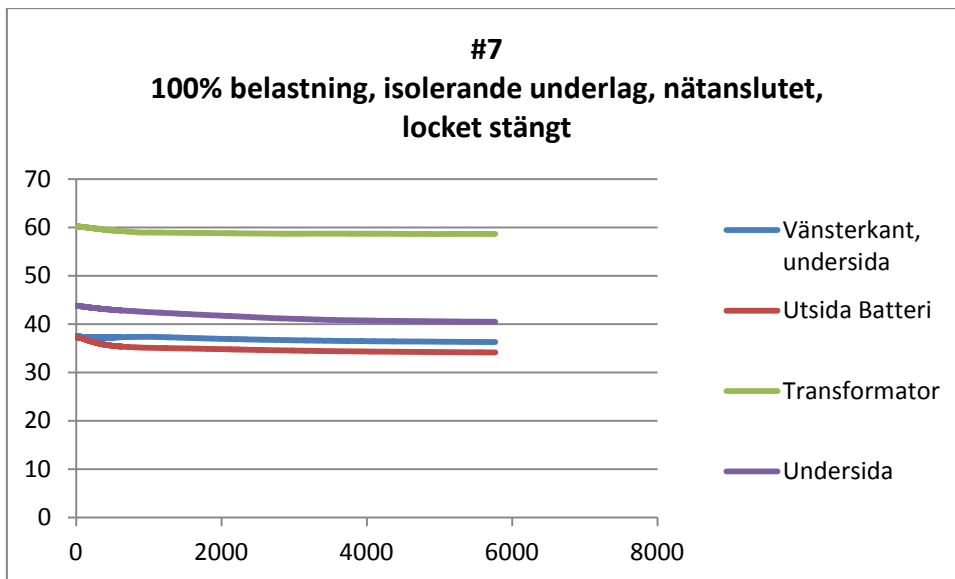
Nummer	Belastning processor	Underlag	Lock	Kraftförsörjning
#1	0%	Plant	Öppet	Nätkabel
#2	0%	Plant	Stängt	Nätkabel
#3	100%	Plant	Öppet	Nätkabel
#4	100%	Plant	Stängt	Nätkabel
#5	0%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#6	100%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#7	100%	Isolering	Stängt	Nätkabel
#8	100%	Dubbel isolering	Stängt	Nätkabel







(Mätning #6 stängdes av okänd anledning av ca 2700 s in i försöket. Nedre diagrammet är mätningen återupptagen runt 1000 s senare, då stationärt läge avlästs via dataloggen.)

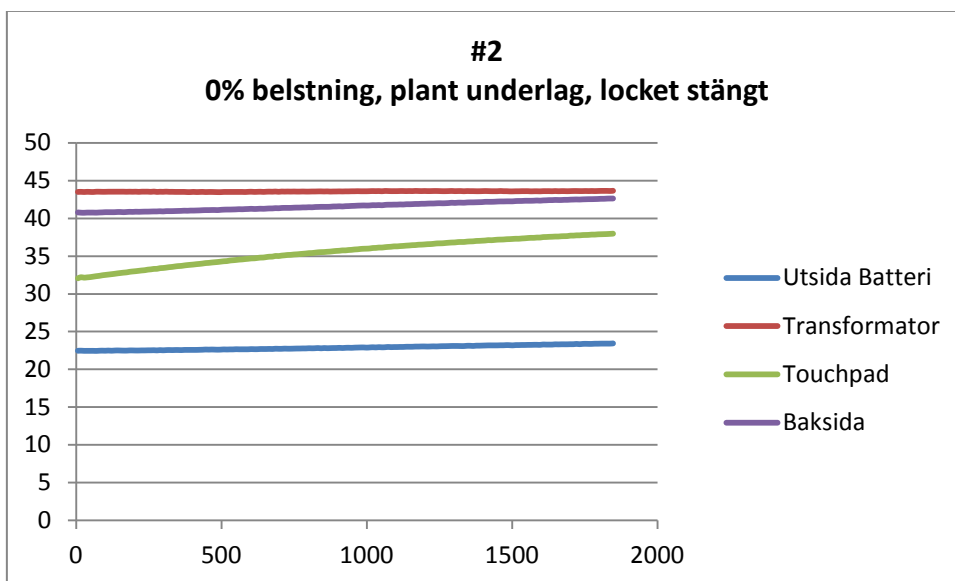
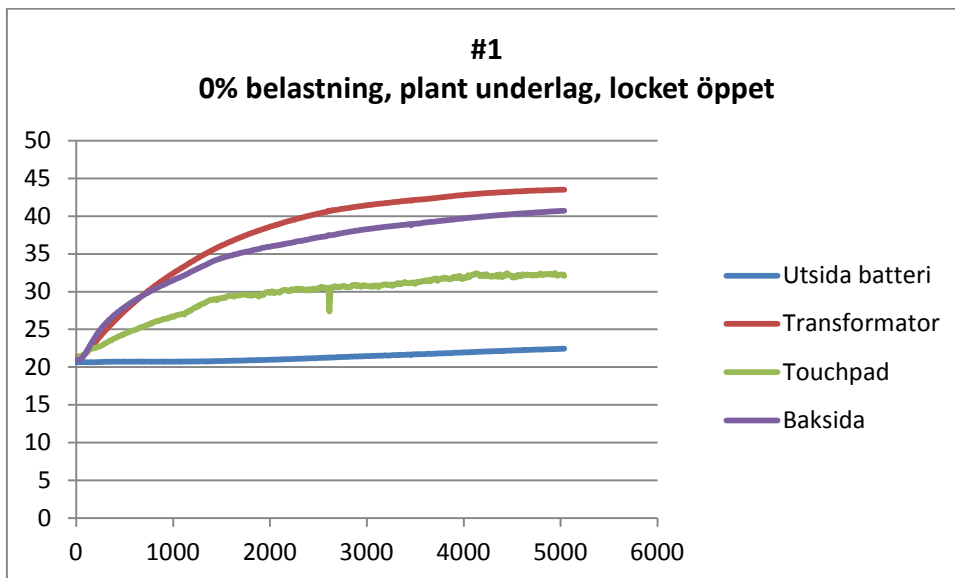


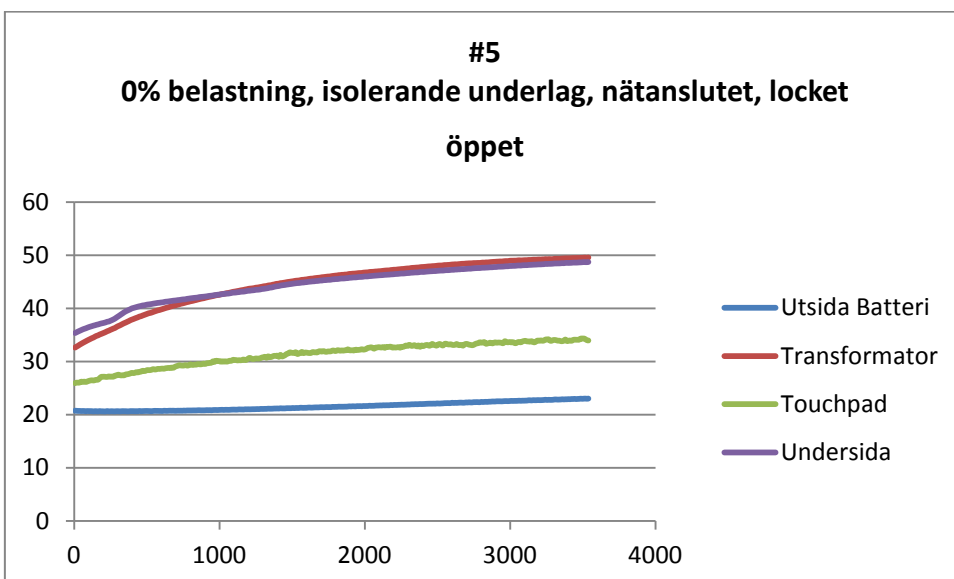
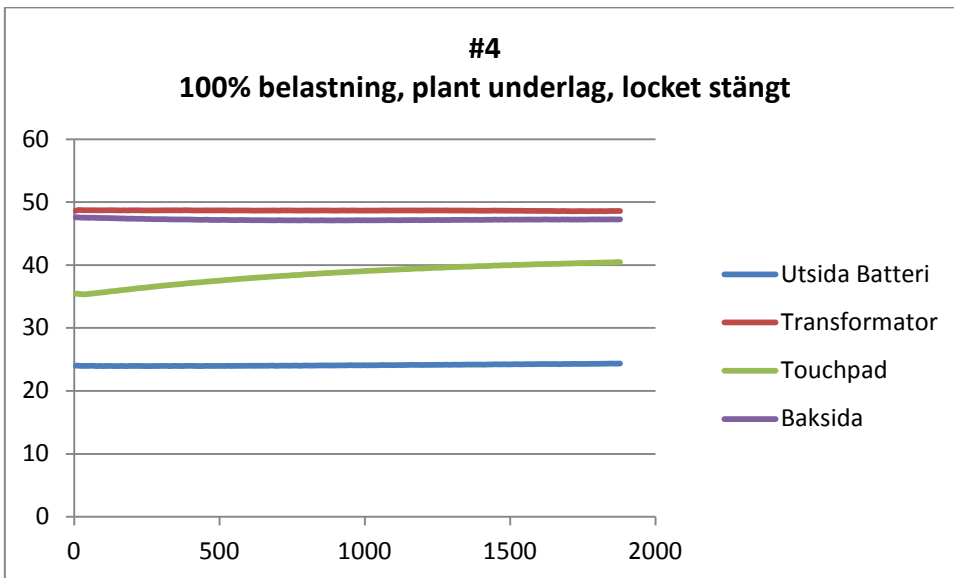
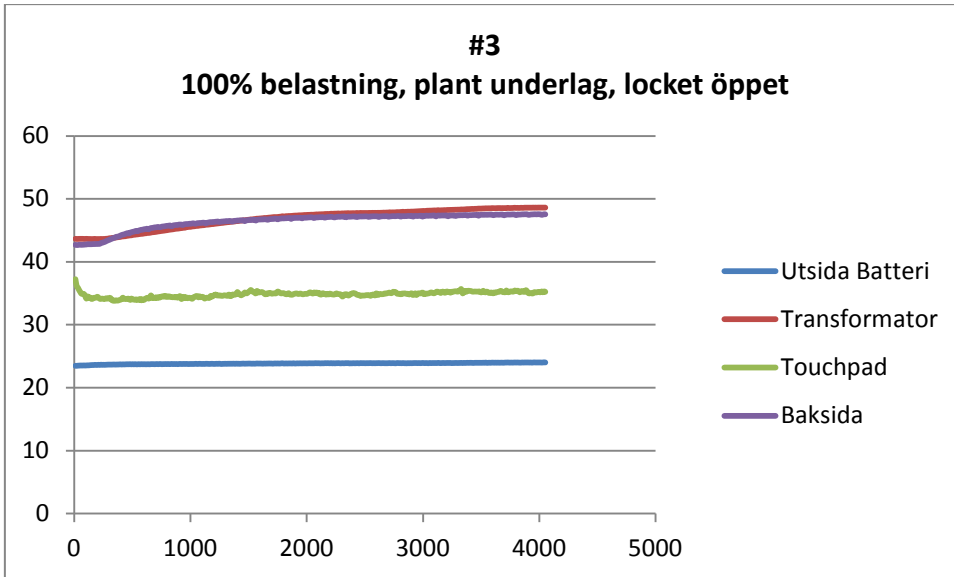
Mätningarna resulterar sammanfattningsvis i följande temperaturer:

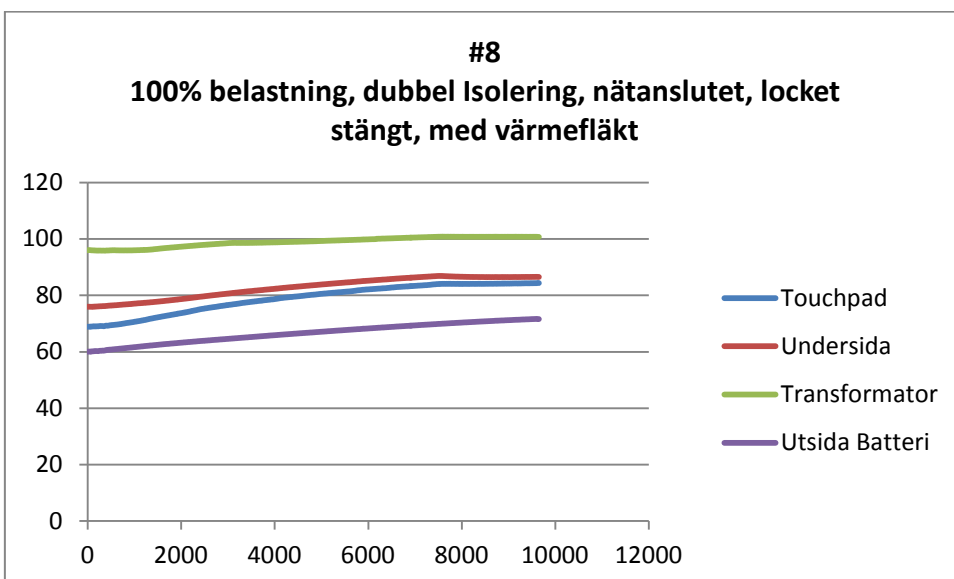
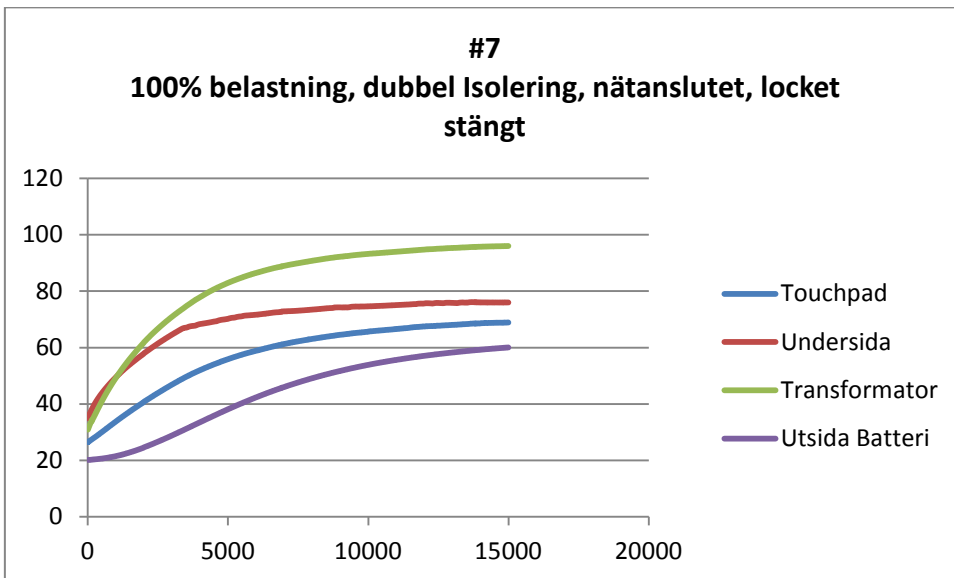
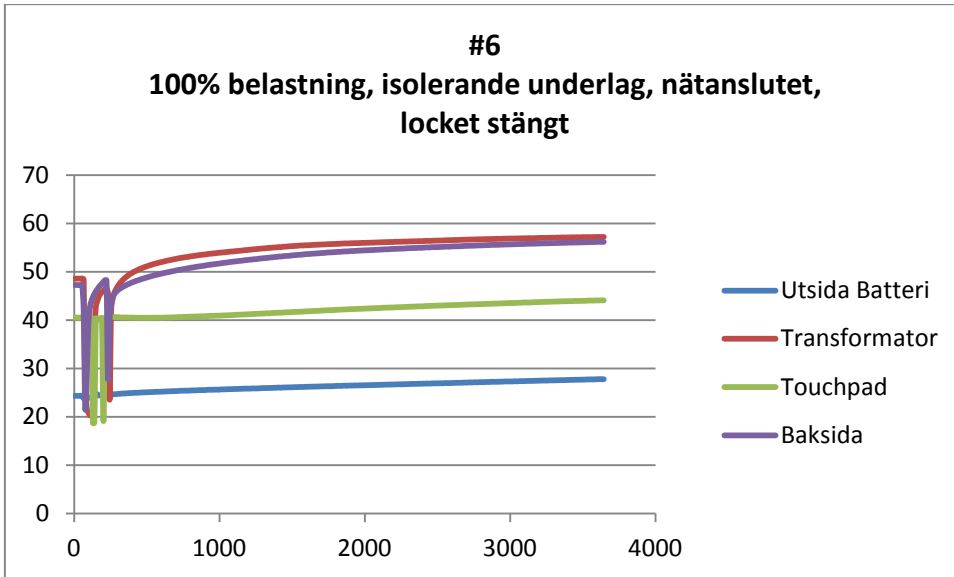
	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida	Skärmkant	Vänsterkant, undersida
#1		36		32	39	35
#2	28	35	27	32		
#3	37	42		35		37
#4	37	40	31	33		
#5	37	44		44		37
#6	38	61		44		38
#7	35	60		40		37
#8	45	75	32	47		

Dator 2

Nummer	Belastning processor	Underlag	Lock	Kraftförsörjning
#1	0%	Plant	Öppet	Nätkabel
#2	0%	Plant	Stängt	Nätkabel
#3	100%	Plant	Öppet	Nätkabel
#4	100%	Plant	Stängt	Nätkabel
#5	0%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#6	100%	Isolering	Stängt	Nätkabel
#7	100%	Dubbel isolering	Stängt	Nätkabel
#8	100%	Dubbel isolering, värmebläkt	Stängt	Nätkabel





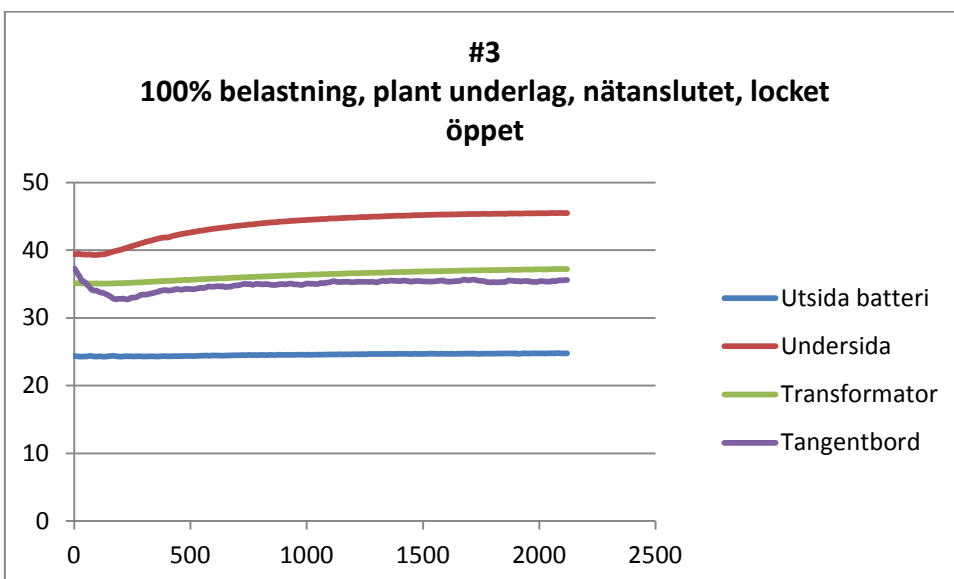
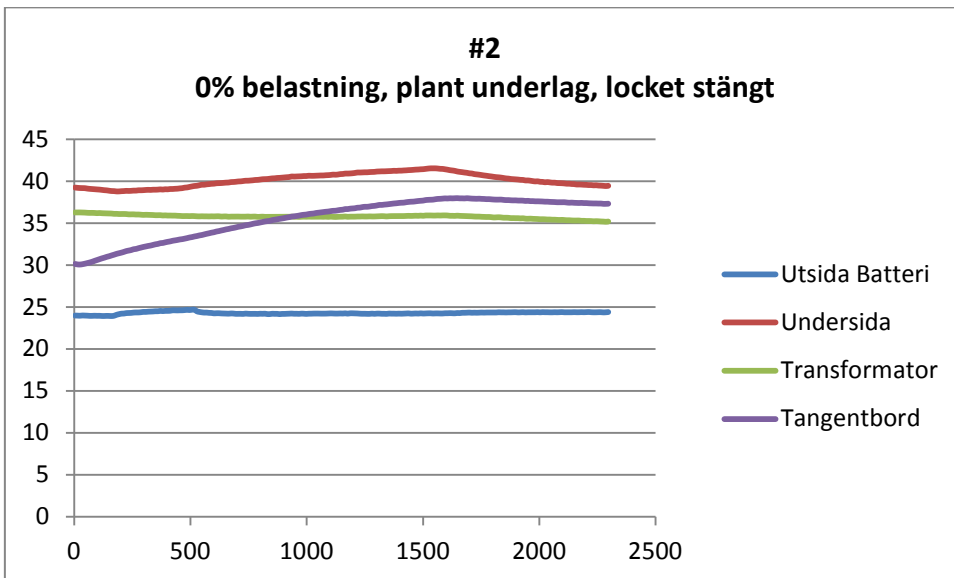
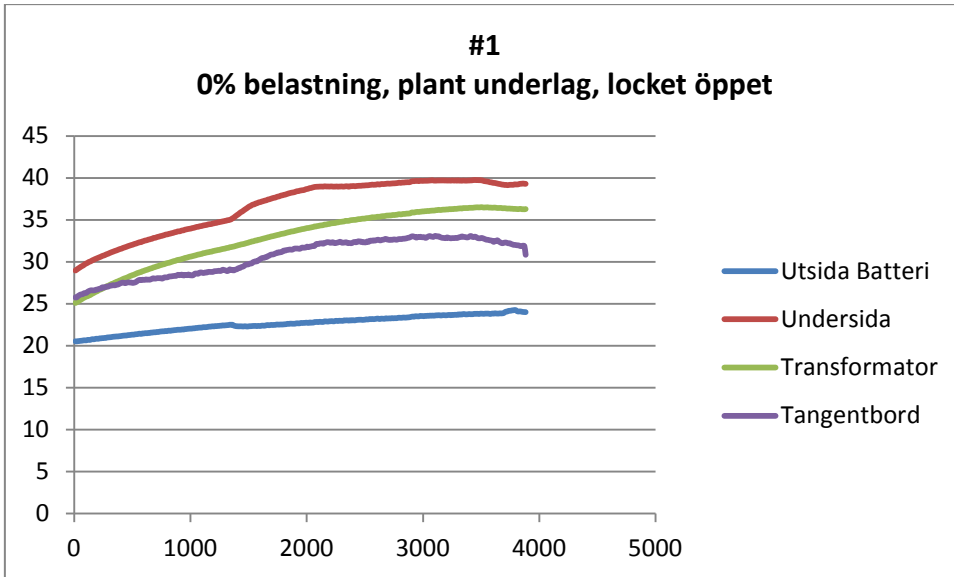


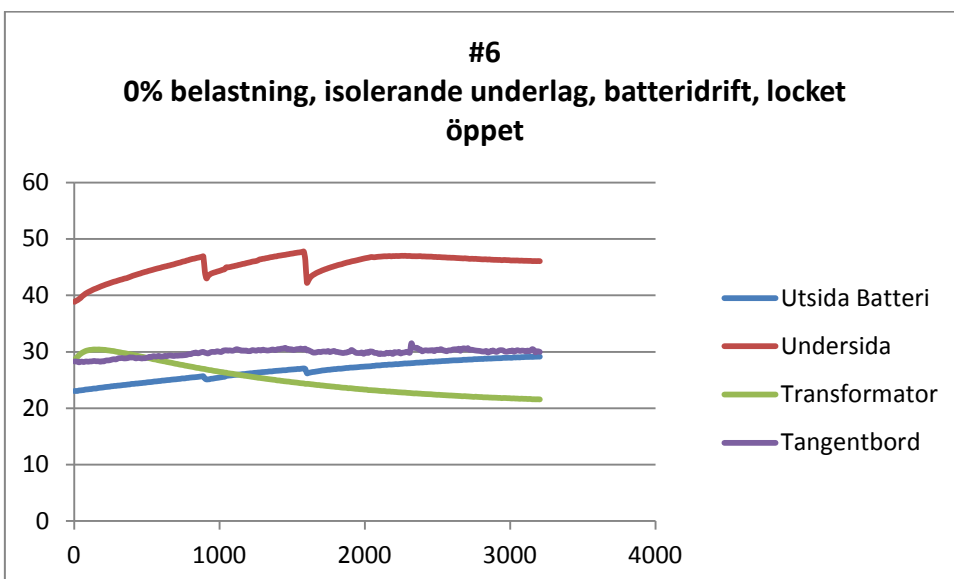
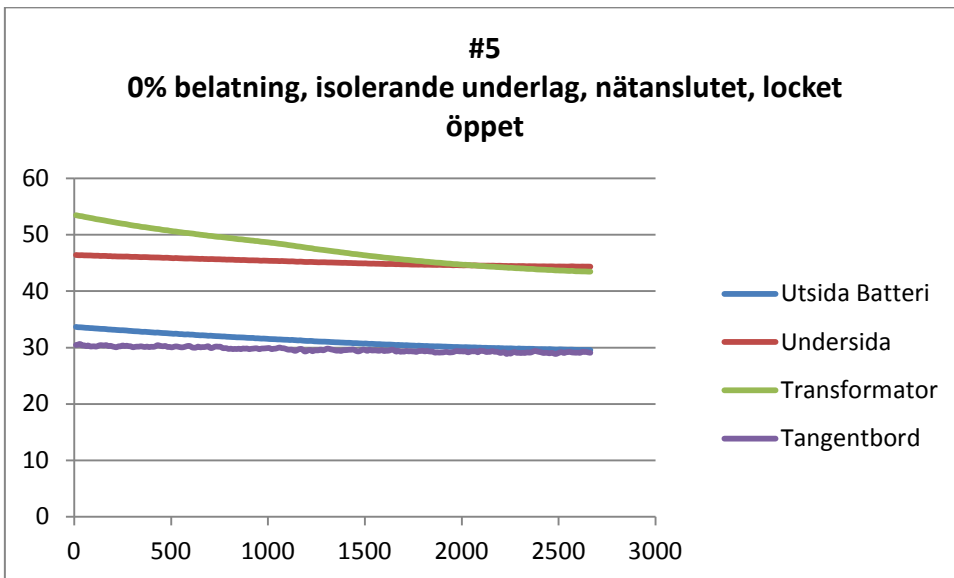
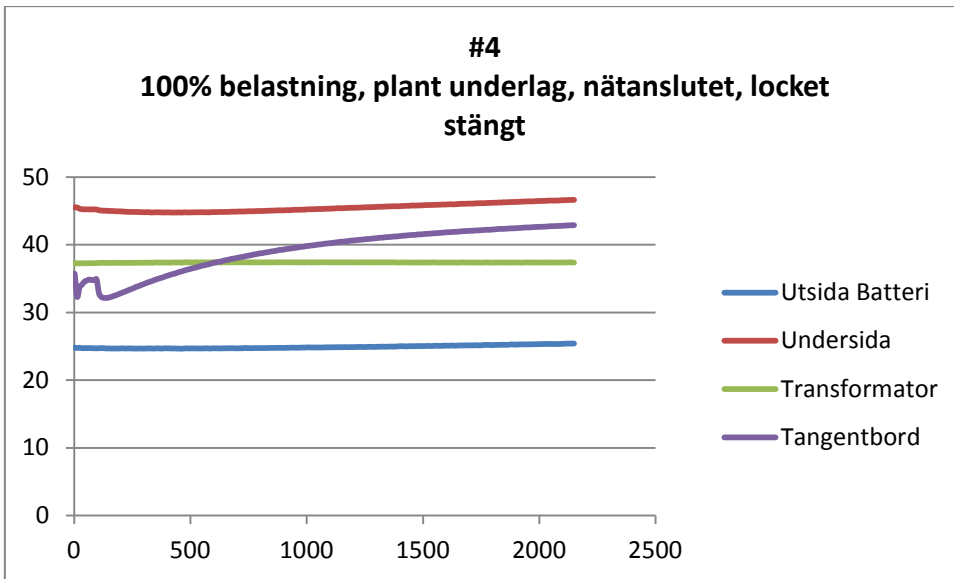
	Utsida Batteri	Transformator	Touchpad	Undersida
#1	23	44	32	41
#2	24	44	38	44
#3	24	49	35	48
#4	24	49	40	48
#5	23	50	34	49
#6	29	58	44	56
#7	60	96	69	76
#8	71	101	84	87

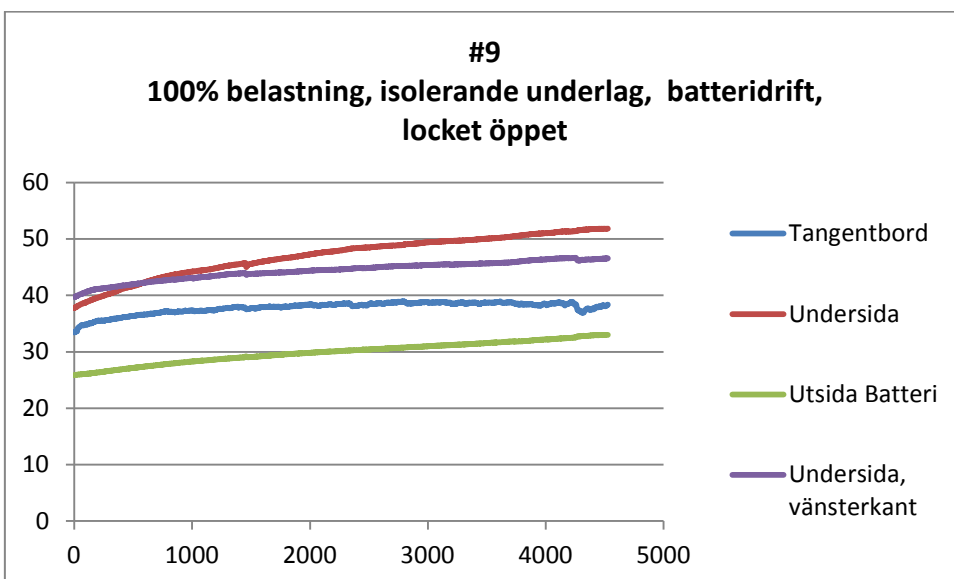
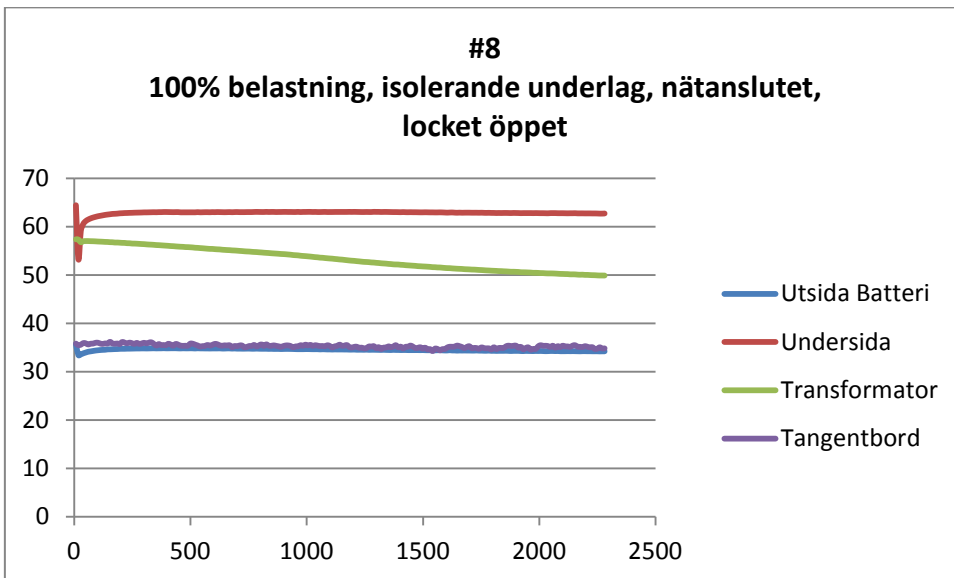
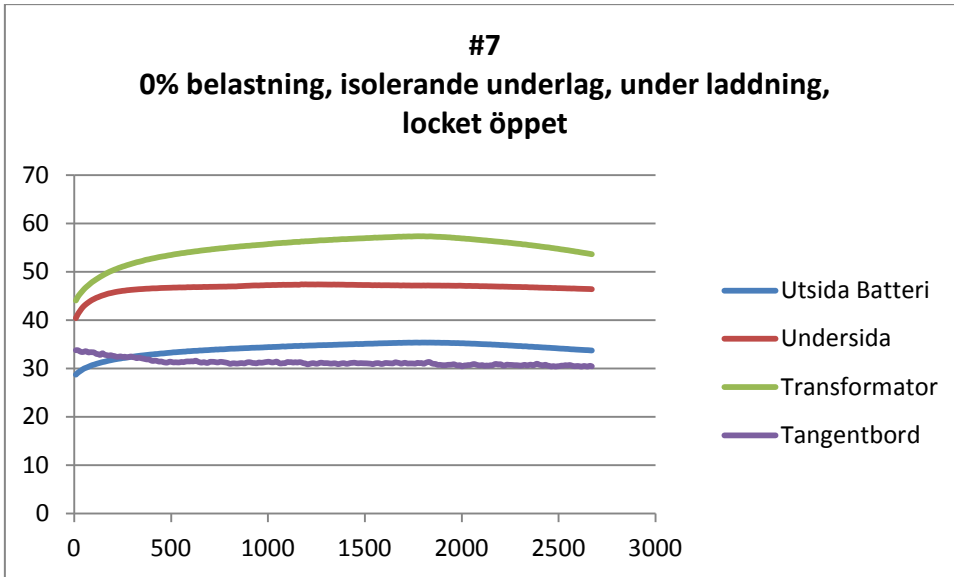
Dator 3

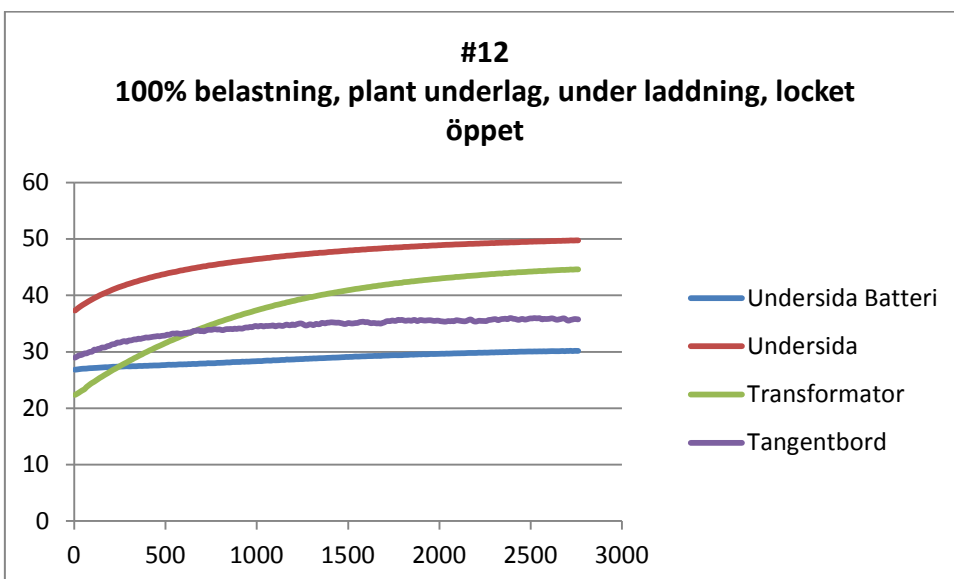
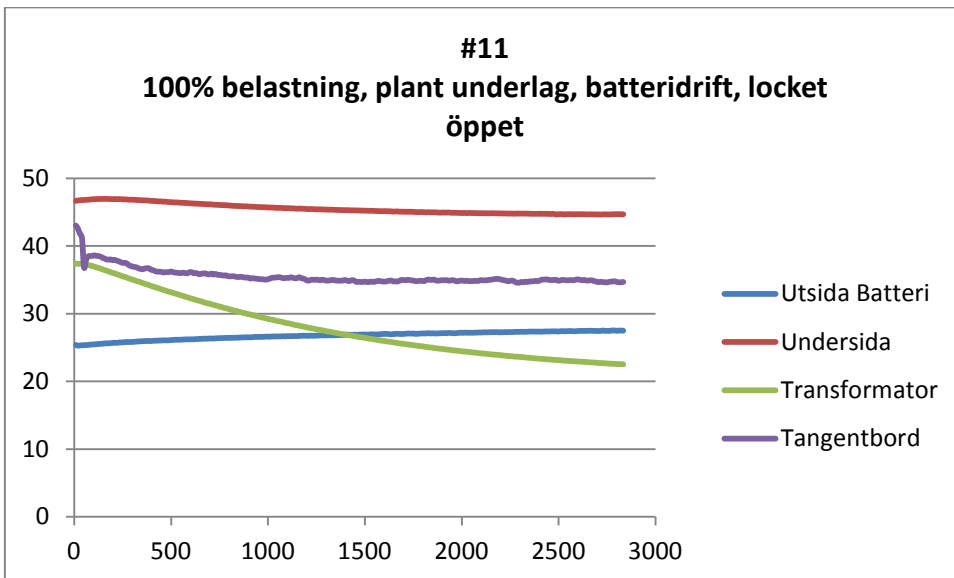
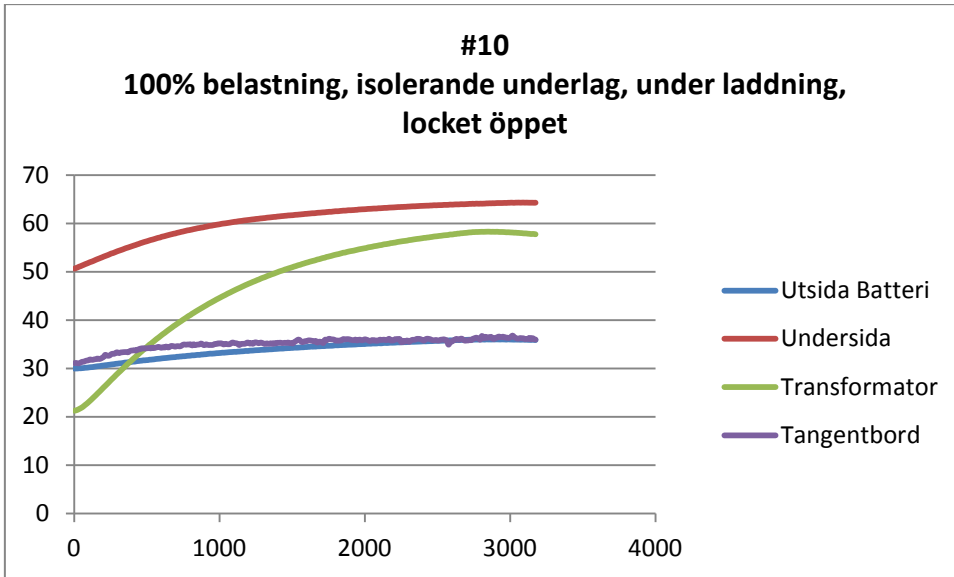
Nummer	Belastning processor	Underlag	Lock	Kraftförsörjning
#1	0%	Plant	Öppet	Nätkabel
#2	0%	Plant	Stängt	Nätkabel
#3	100%	Plant	Öppet	Nätkabel
#4	100%	Plant	Stängt	Nätkabel
#5	0%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#6	0%	Isolering	Öppet	Batteri
#7	0%	Isolering	Öppet	Laddas
#8	100%	Isolering	Öppet	Nätkabel
#9	100%	Isolering	Öppet	Batteri
#10	100%	Isolering	Öppet	Laddas
#11	100%	Plant	Öppet	Batteri
#12	100%	Plant	Öppet	Laddas
#13	100%	Isolering	Öppet	Nätkabel

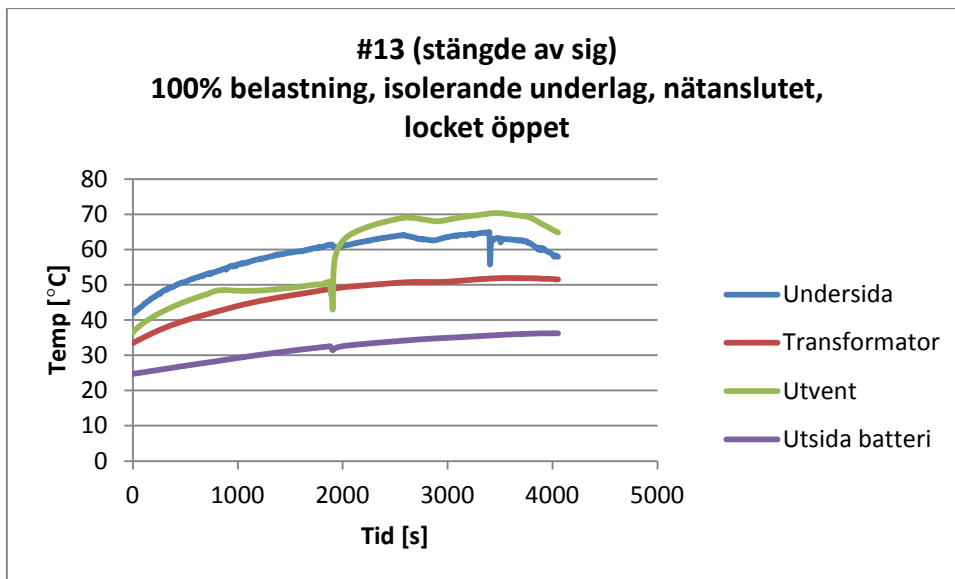
Försök nummer tretton alltså ett av de allra första försöken, där den bärbara datorn stängde av sig själv.











	Utsida Batteri	Undersida	Transformator	Tangentbord	Utvent	Annat
#1	25	40	37	33		
#2	25	41	35	38		
#3	25	45	37	35		
#4	25	46	37	43		
#5	30	45	43	30		
#6	30	47	20	30		
#7	32	48	58	30		
#8	35	62	50	35		
#9	33	52	(20)	39		47 annan punkt baksida
#10	37	64	58	37		
#11	28	45	20	35		
#12	30	50	45	36		
#13	38	65	52		70	

Bilaga B – Förslag på vidare studier

Som nämnts tidigare i arbetet blir tillförlitligheten i resultaten högre ju fler försök som genomförs. En utökad serie med försök där datorer körs och temperaturer kontinuerligt mäts skulle ge ökad mängd data och därmed större möjligheter att dra slutsatser.

Försöken kan göras för att ge en generell överblick eller fokusera på exempelvis underlagets inverkan. Är det underlagets isolerande eller ventilationshämmande egenskaper som spelar störst roll?

En ny serie försök på *bärbara* datorer är alltså ett förslag. En del fall har identifierats under detta arbetes gång som rör *stationära* datorer. En motsvarande kartläggning rörande stationära datorer skulle kunna vara lämpligt ämne för examensarbete.

Vid nya försök rekommenderas det starkt att mer kraft läggs på att få fram nyare datorer att testa på. På detta sätt blir resultatet så relevant och aktuellt som möjligt.