

# INNOVATIVA ELSYSTEM I BYGGNADER

Konsekvenser för brandsäkerhet

Frukostseminarium 2020-01-14

Michael Försth, Luleå tekniska universitet, [michael.forsth@ltu.se](mailto:michael.forsth@ltu.se)

Marcus Runefors, Lunds Tekniska Högskola, [marcus.runefors@brand.lth.se](mailto:marcus.runefors@brand.lth.se)

Petra Andersson, RISE, [petra.andersson@ri.se](mailto:petra.andersson@ri.se)



# Innovativa elsystem i byggnader – konsekvenser för brandsäkerhet

- Samarbetsprojekt mellan Luleå tekniska universitet, Lunds tekniska högskola och RISE
- Finansierades till lika delar av Brandforsk och Länsförsäkringars forskningsstiftelse
- Syfte och mål: ”... *Projektet utgör en grund för fortsatta forskningsinsatser och avsikten är att detta övergripande projekt sammanställer tillgänglig kunskap och kunskapsläge samt initierar nya projekt. ...*”



# Solpaneler

*Vilken typ av lokal produktion inom byggnader kommer att dominera utbyggnaden de närmaste 20 åren och på längre sikt?*

- Solceller ser ut att dominera i framtiden på bostadsmarknaden. Tar inte mer plats än själva byggnaden så ingen mer yta kommer behövas.
- Även integrerade solceller vilka ingår i fasader och tak....

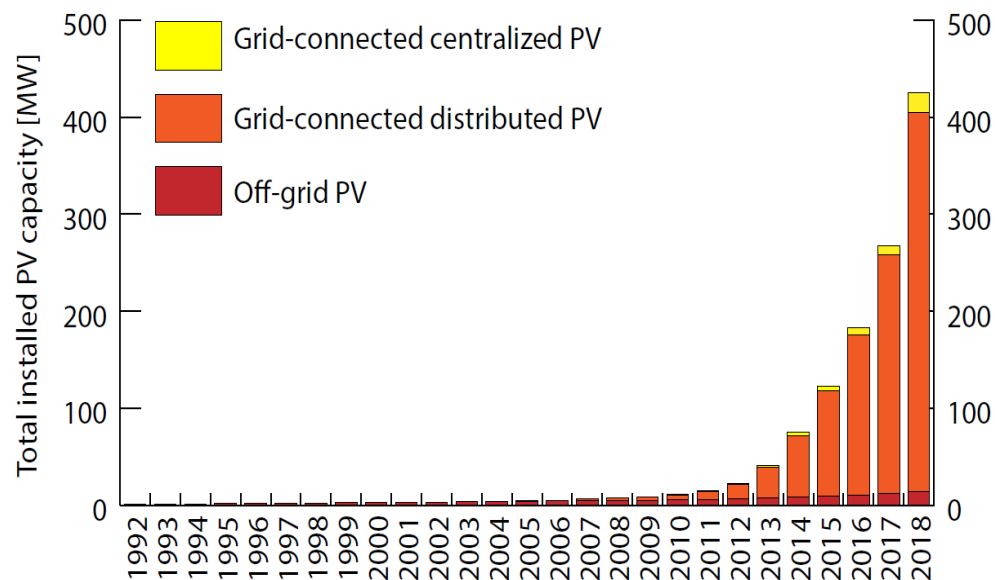


Sök på regeringen.se



Artikel från [Miljödepartementet](#), [Infrastrukturdepartementet](#)

# 500 miljoner kronor mer till solcellsstödet i höständringsbudgeten



## ENERGI

Ikea

Solceller

# Ikea börjar sälja solceller i Sverige

2019-05-08 08:05

Av: TT / Ny Teknik

147 kommentarer



Ikea ska börja sälja solceller i sina svenska varuhus efter sommaren, rapporterar flera medier. Det är fortfarande oklart vad de kommer att kosta och vilka som blir Ikeas



2019 Building energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings: For the 2019 building energy efficiency standards. Subchapter 8

*All low-rise residential buildings shall have a photovoltaic (PV) system meeting the minimum qualification requirements...*

# Inte bara på tak!

Solcellsfasader blir allt vanligare

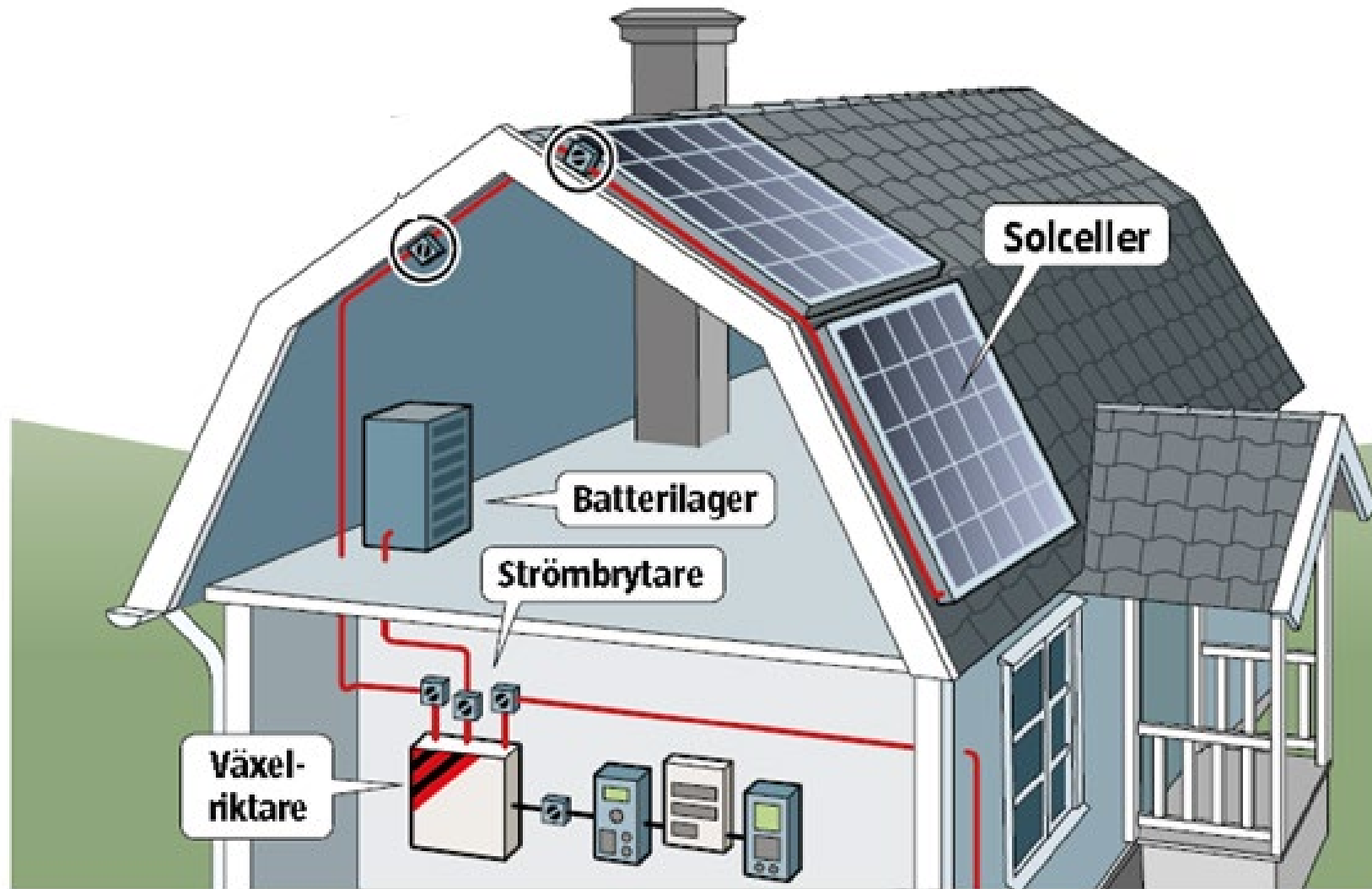




# ASKO-branden

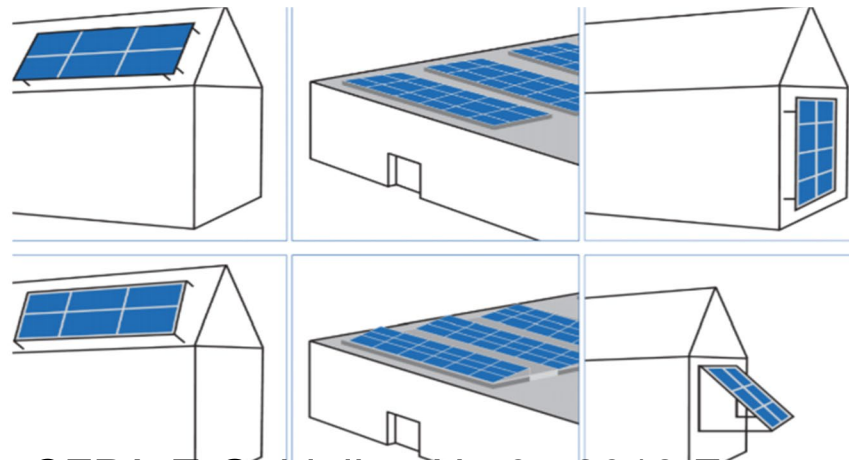


- Brand 7-14 april, 2017
- En av Norges största byggnader
- Frys/kyllager, tekniskt utrymme
- Utanpåmonterade solceller, och sektionerat
- Räddningstjänsten kände till installationen
- Branden startade inte i solpanelerna

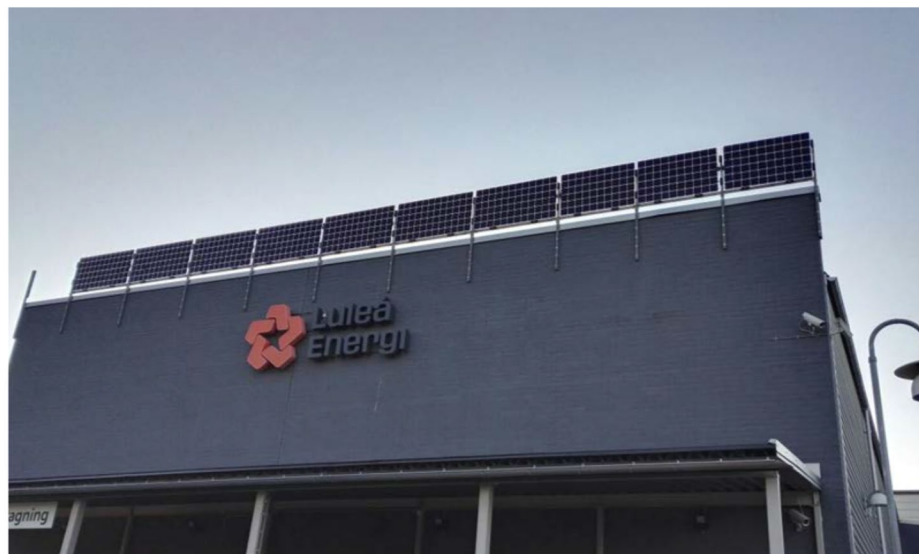


Källa: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/28805.pdf>

# Byggnadsapplicerade solcell (BAPV)

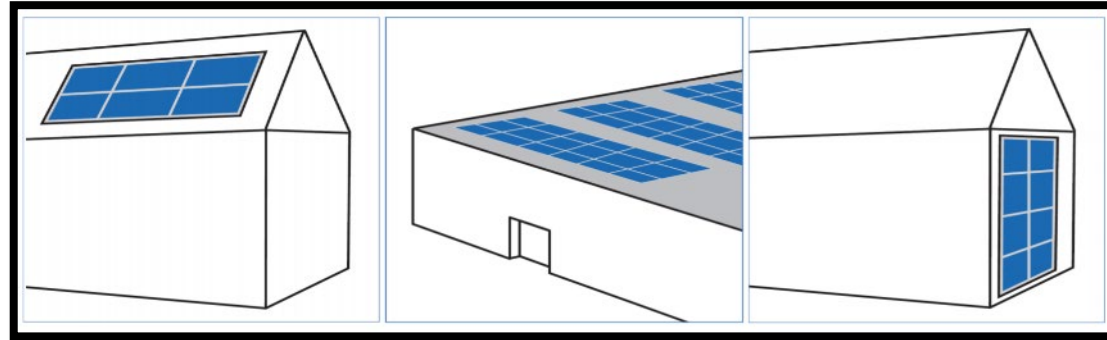


CFPA-E Guideline No 37:2018 F





# Byggnadsintegrerade solcell (BIPV)



CFPA-E Guideline No 37:2018 F

Solar roof finishes



TEXTURED



SMOOTH



TUSCAN



SLATE

Source: Tesla

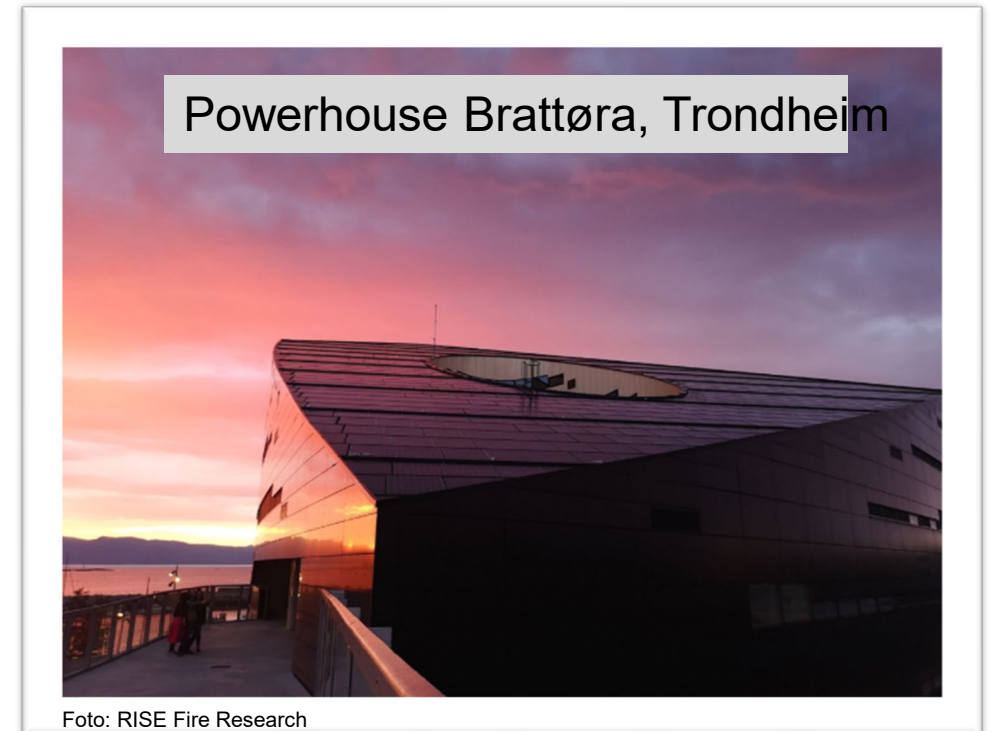
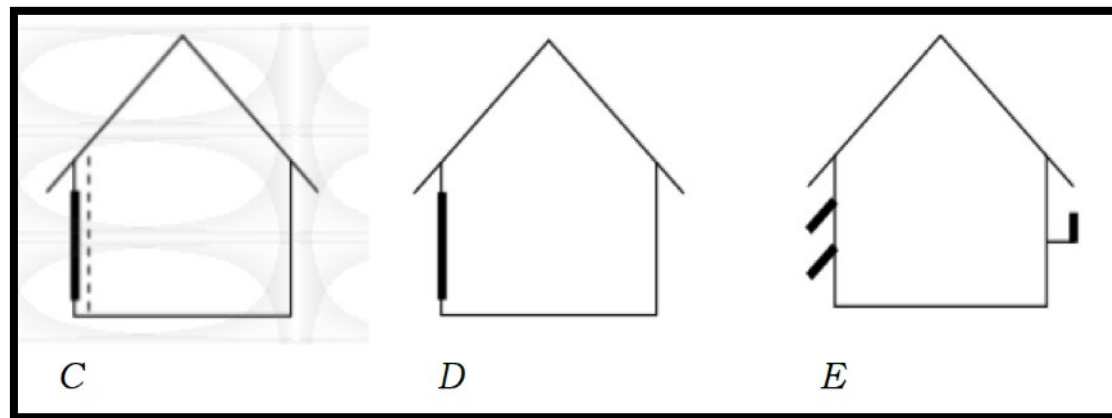


Foto: RISE Fire Research

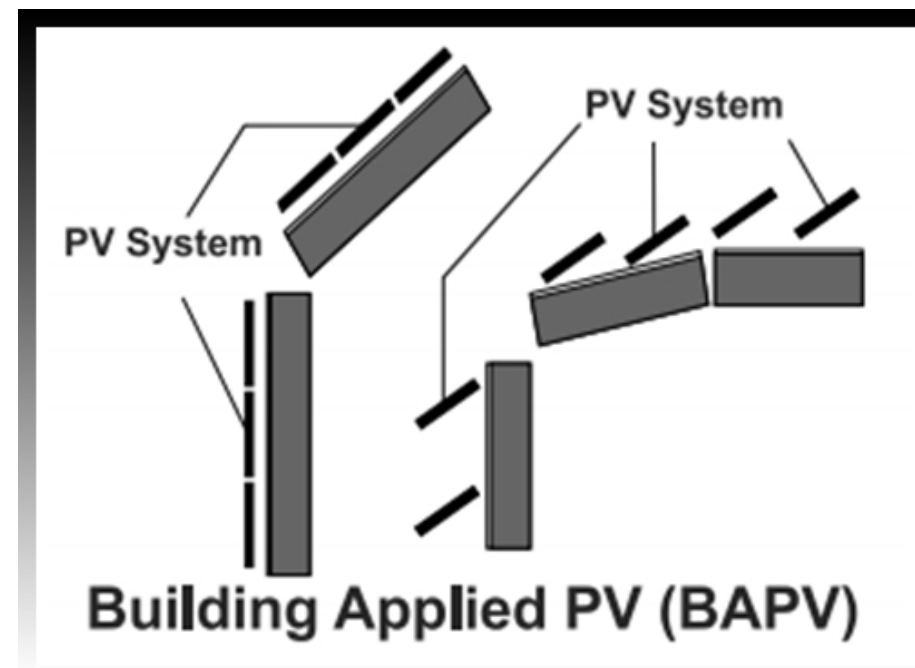
## Byggnadsintegrerade solcellspaneler (BIPV) -

- byggprodukter och måste fylla en funktion i byggnaden (klimatavskiljande, bärande eller solavskärmande)
- SS-EN 50583-1
- SS-EN ISO 12631, Termiska egenskaper hos glasfasader



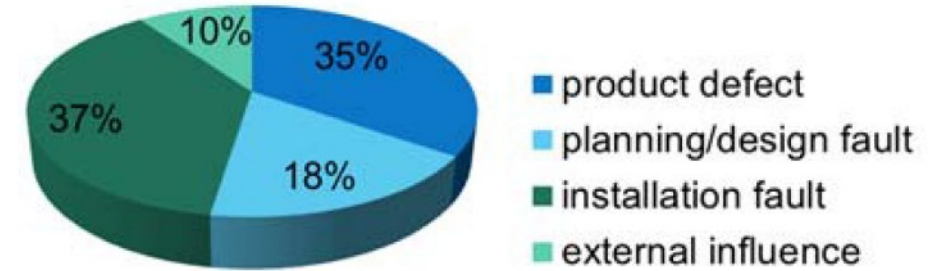
## Byggnadsapplicerade BAPV - (Building Applied Photovoltaic systems)

- paneler är endast uppmonterade för att generera energi.



# Risker

- Solcellsinstallationer har många komponenter och anslutningspunkter som kan leda till brand.
- Kan orsaka brand på fasad och tak (innehåller brännbara komponenter)
- Går inte att stänga solpanelens produktion, så länge den bestrålas av solsken
- Ovanligt att åskan skadar solpanelerna (inte jordade)
- Stora risker för brandmän



*Orsak till brand (PV), Tyskland 1995-2012.  
Från: PV fire hazard – analysis and  
assessment of fire incidents, 2013*

Om våra annonser  
OMX Copenhagen 20: 1121,53 0 %  
Dow Jones Industrial Average: 28239,28 -0,099 %  
NASDAQ 100: 8580,62 0,057 %  
EUR/SEK Spot:



Fotograf: Pixabay (genrebild)

Dela artikeln

NYHETER

Publicerad 2019-11-06 12:22 av Finwire



## Walmart i förlikning med Tesla över brinnande solpaneler

# Räddningstjänst

- Räddningstjänst behöver information om solpanelanläggningar
  - ELSÄK-FS 2008:2 redovisas generella krav på varselskyltning, men det finns idag inga specifika krav på skyltning (varselmärkning) av solcellsanläggning
  - En tydlig uppskyltning är dock nödvändig för att upplysa om de risker som är förknippade med solcellsanläggningar
  - Tydliga instruktioner i anslutning till anläggningen (vid växelriktare och vid huvudcentral som räddningstjänsten kan agera utifrån)

Förslag på tilläggsvarningsskyltar:



Allmän varning

För räddningstjänst

RÅD Räddningsinsats i samband med brand i solcellsanläggning. MSB, 2014

# Räddningstjänst

- Räddningstjänst behöver information om solpanelanläggningar
- Kontaktfara (exempel: strömbelagt, glas, fallande installationsdelar)
- Risk för återantändning



# Räddningstjänst

- Räddningstjänst behöver information om solpanelanläggningar
- Kontaktfara
- Risk för återantändning
- Minimera risken för elchock:  
färskvatten, 1 meter spridd stråle / 5 meter sluten stråle



# Räddningstjänst

- Räddningstjänst behöver information om solpanelanläggningar
- Kontaktfara
- Risk för återantändning
- Minimera risken för elchock:  
färskvatten, 1 meter spridd stråle / 5 meter sluten stråle
- Vid andra släckmetoder (pulver, CO<sub>2</sub>,) föreligger inget säkerhetsavstånd motiverat på grund av el.
- Skum ska inte användas mot spänningssatta anläggningar (skum ökar elektrisk konduktivitet för vatten)



Foto: Guidelien: Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization, 2018



# Exempel på standarder och regler för BIPV

- Boverkets byggregler, BBR
  - *Byggnadsdelar klasser och definitioner (BBR 5:23)*
  - *Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnader (BBR 5:5)*
  - *Fönster i yttervägg (BBR 5:553)*
  - *Skydd mot brandspridning mellan byggnader (BBR 5:6)*
- SS-EN 50583-1 - Byggnadsintegrerade solceller
- SS-EN 13501-1 - Brandteknisk klassificering av byggprodukter och byggnadselement - Del 1: Klassificering baserad på provningsdata från metoder som mäter reaktion vid brandpåverkan



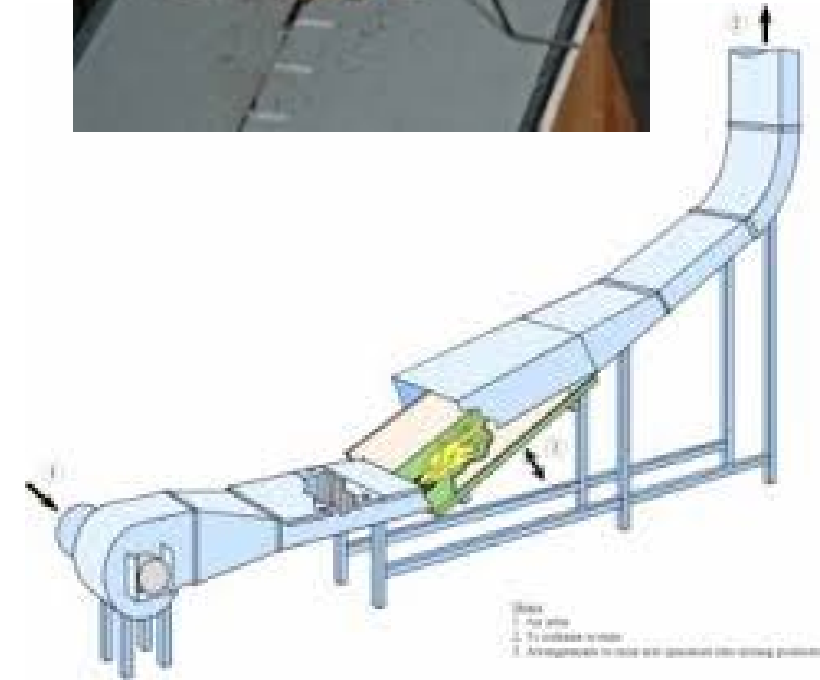
# Provningsmetoder Europa

## ■ BAPV

- CEN/TS 1187:2012 – Brandteknisk provning av tak
  - a) test 1 – T1 with burning brands;
  - b) test 2 – T2 with burning brands and wind;
  - c) test 3 – T3 with burning brands, wind and supplementary radiant heat;
  - d) test 4 – T4 with two stages incorporating burning brands, wind and supplementary radiant heat.

## ■ BIPV –

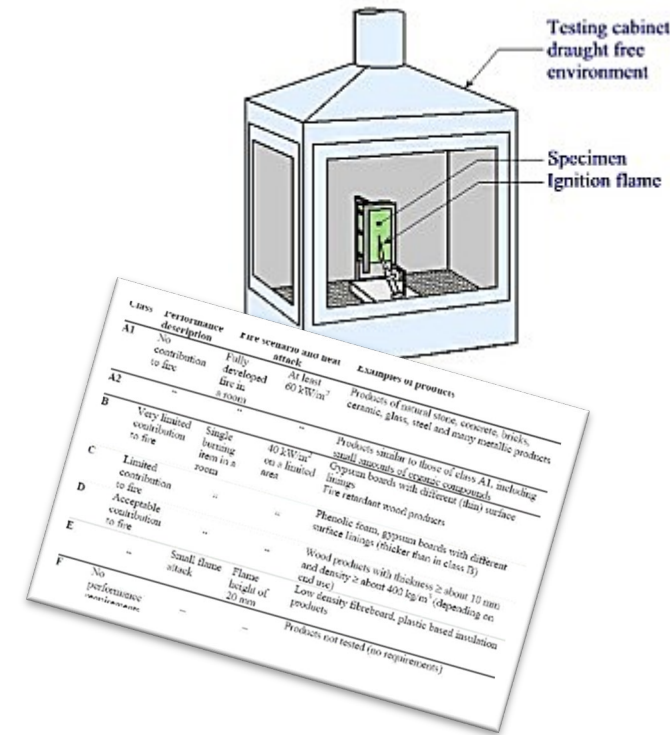
- EN 50583-1:2016 “Byggnadsintegrerade solceller - Del 1: Moduler”
- EN 50583-2:2016 “Byggnadsintegrerade solceller - Del 2: System”



# Tyskland



- MBO - (Musterbauordnung) Model Building Code
  - PV ska installeras på "hard roof" ( B2 → DIN 4102 eller E → EN13501)
    - §26 'solar systems must be made of at least normally flammable materials'
    - §28 'flame-retardant' installation gäller på väggkonstruktioner
    - §30 komponenter av brännbart material ska inte leda branden genom brandväggen
    - §32 Minimum avstånd mellan PV moduler och mitten av brandväggen rekommenderas 1.25 m (dormer-style roof structures)
- VDE-AR-E 2100-712 'Minimum requirements for the DC side of a PV array in case of fire fighting or technical support'



# USA: UL 1703:2015 "Standard for Flat-plate photovoltaic modules and panels"

Figure 31.3  
Steep-sloped flame spread test deck-south edge

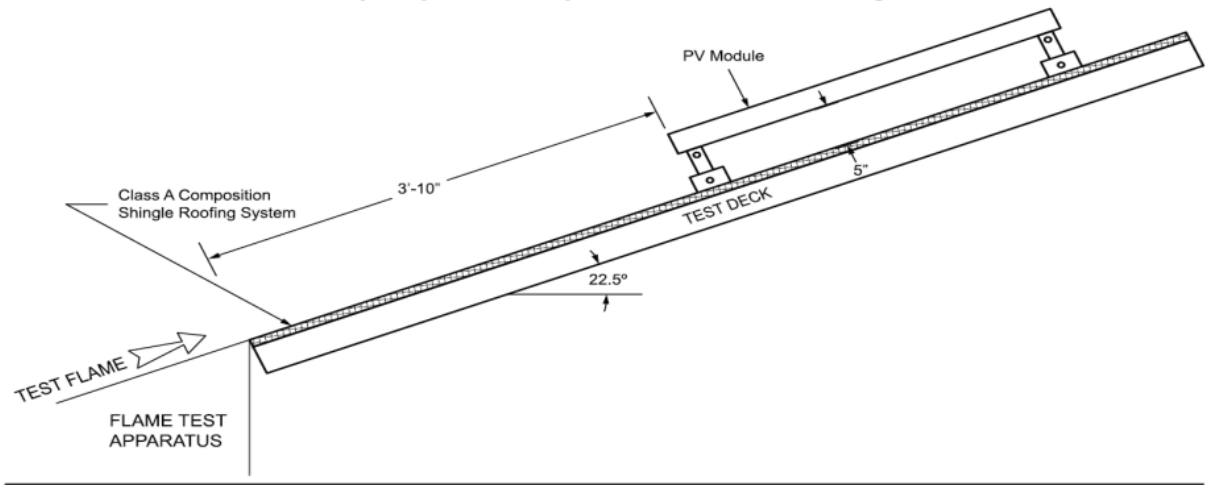
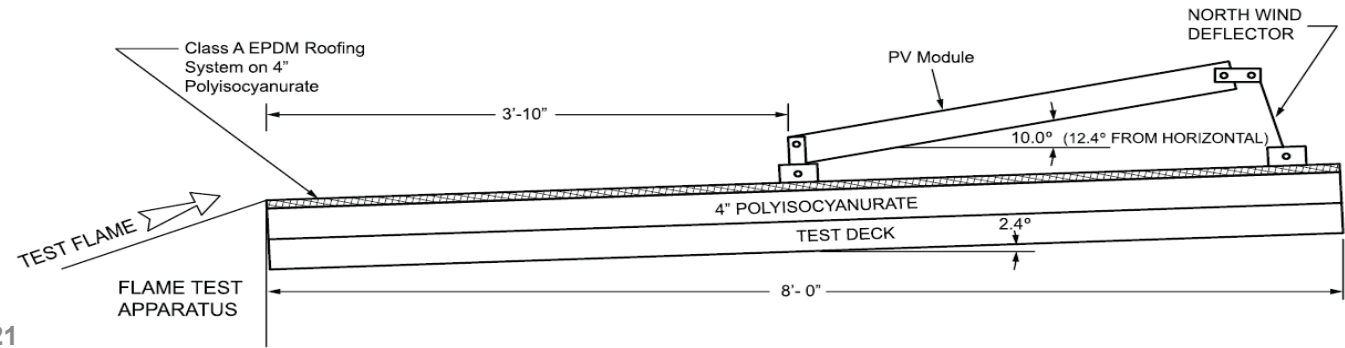


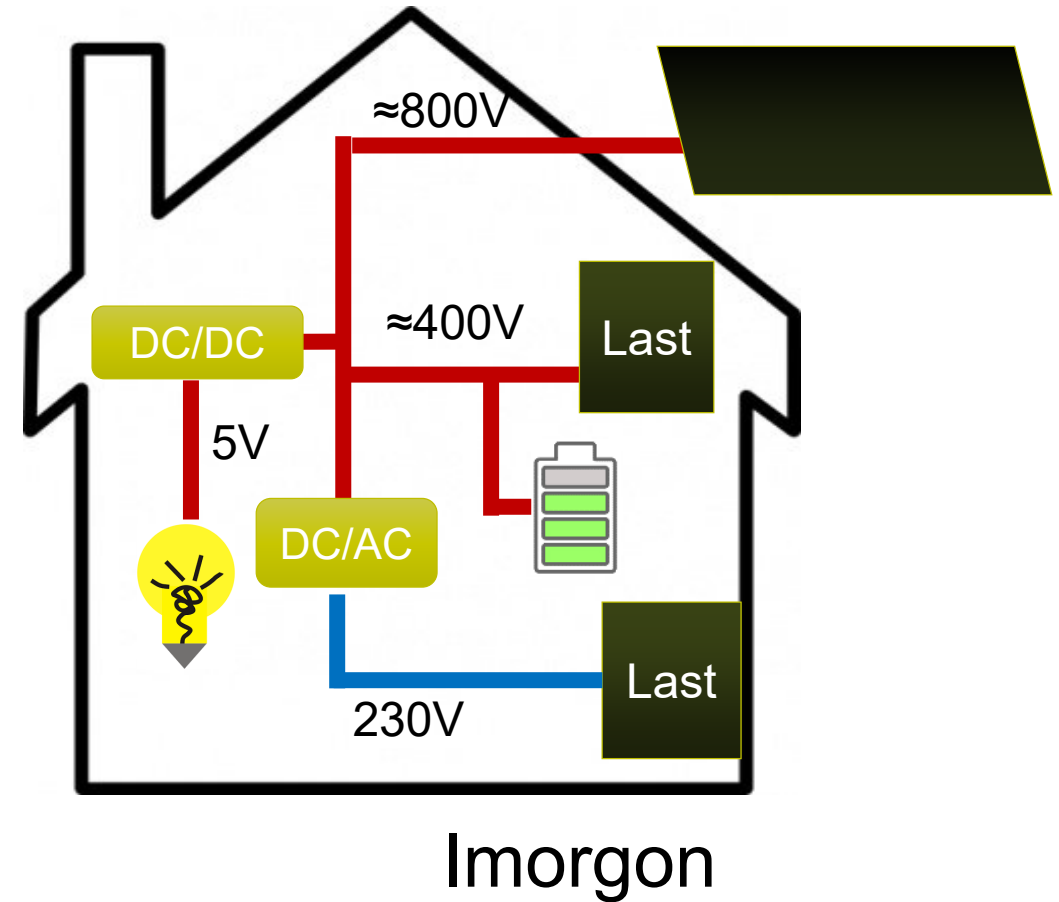
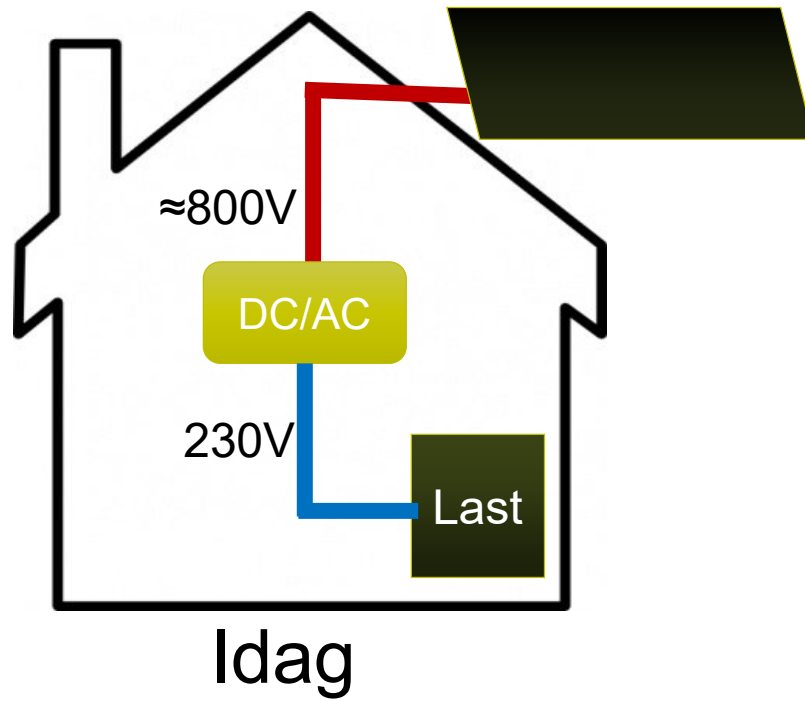
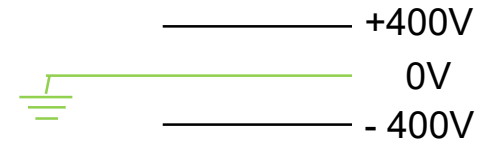
Figure 31.5  
Low-sloped flame spread test deck-south edge (asymmetrical cross section)



# Nya distributionssystem

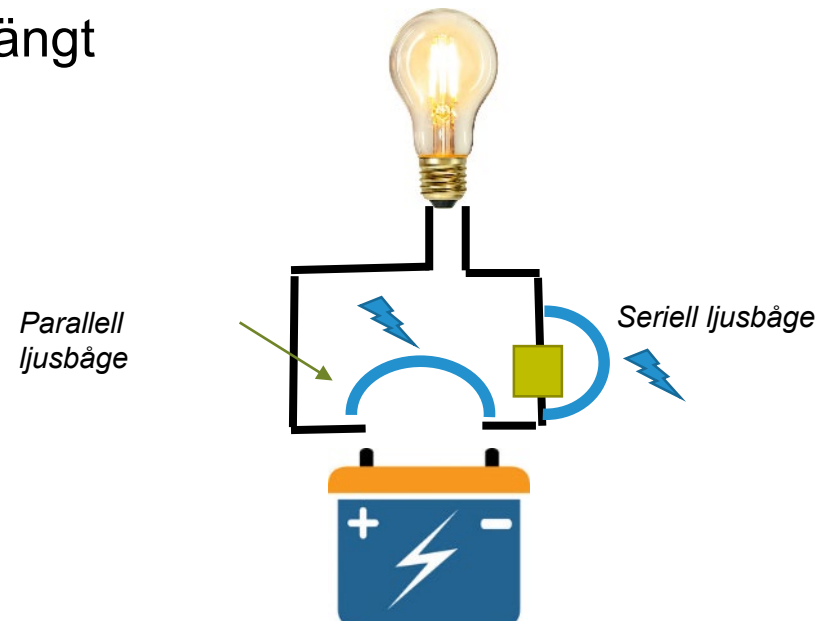
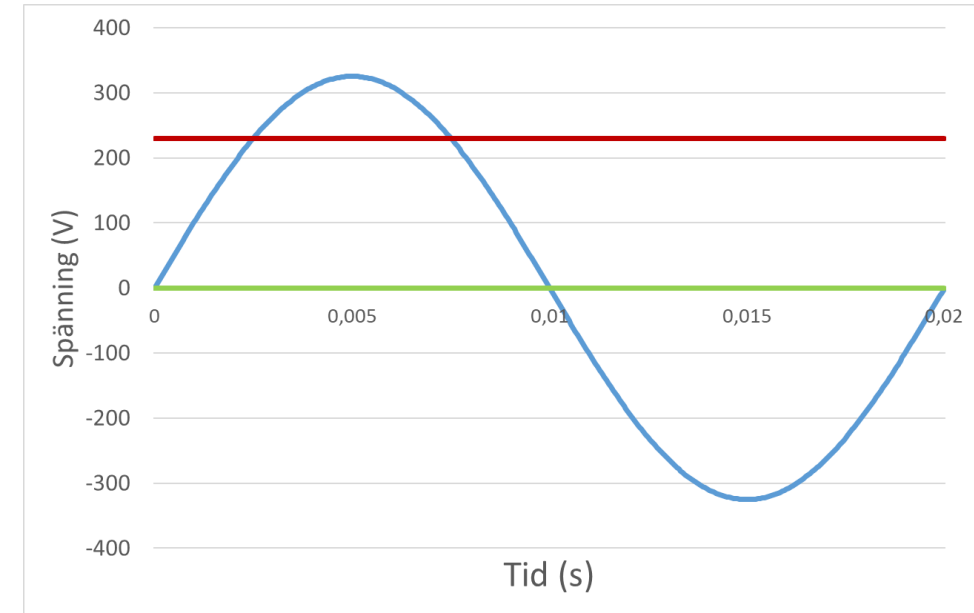


# Idag och imorgon

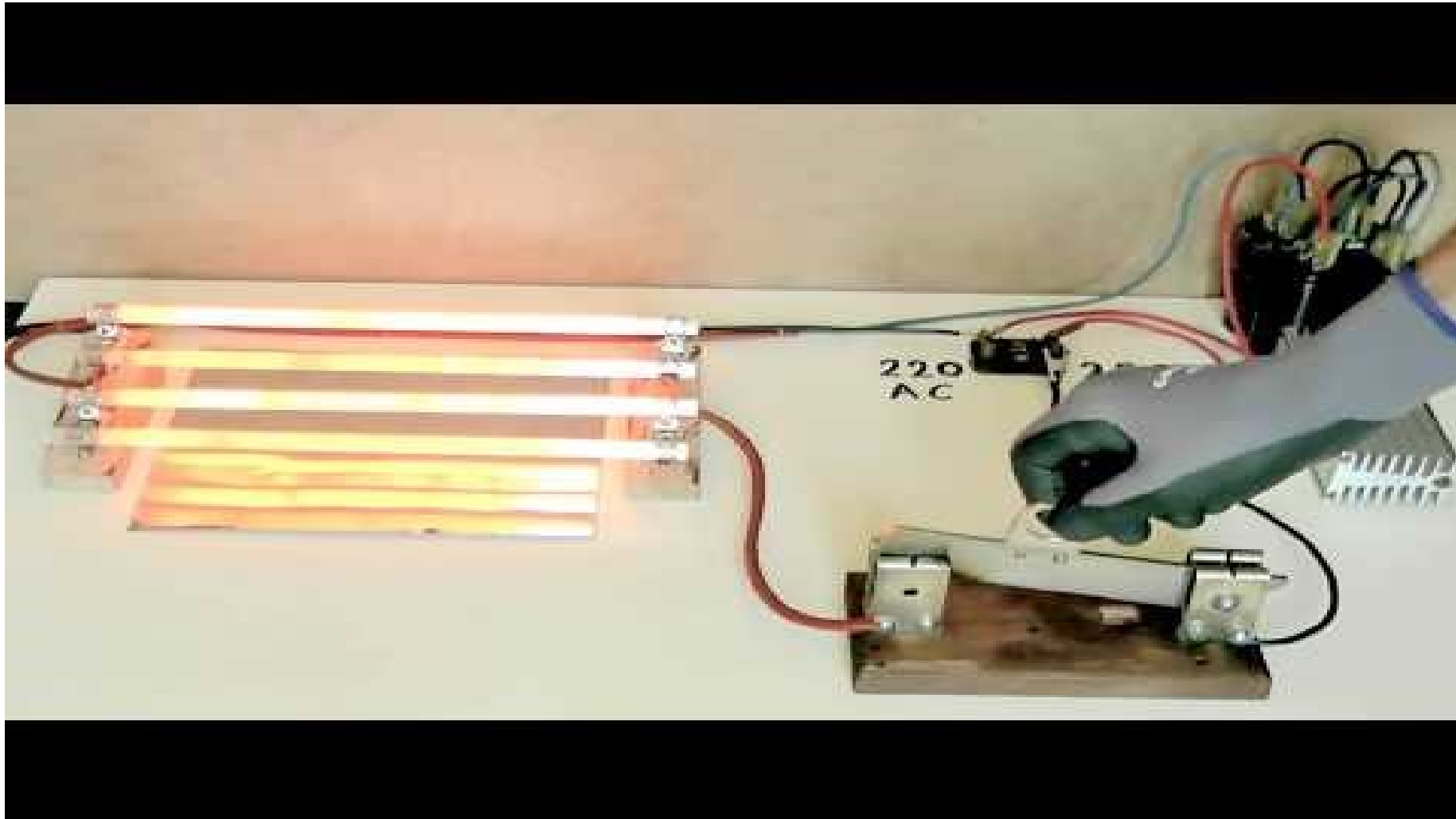


# Risker i distributionssystem

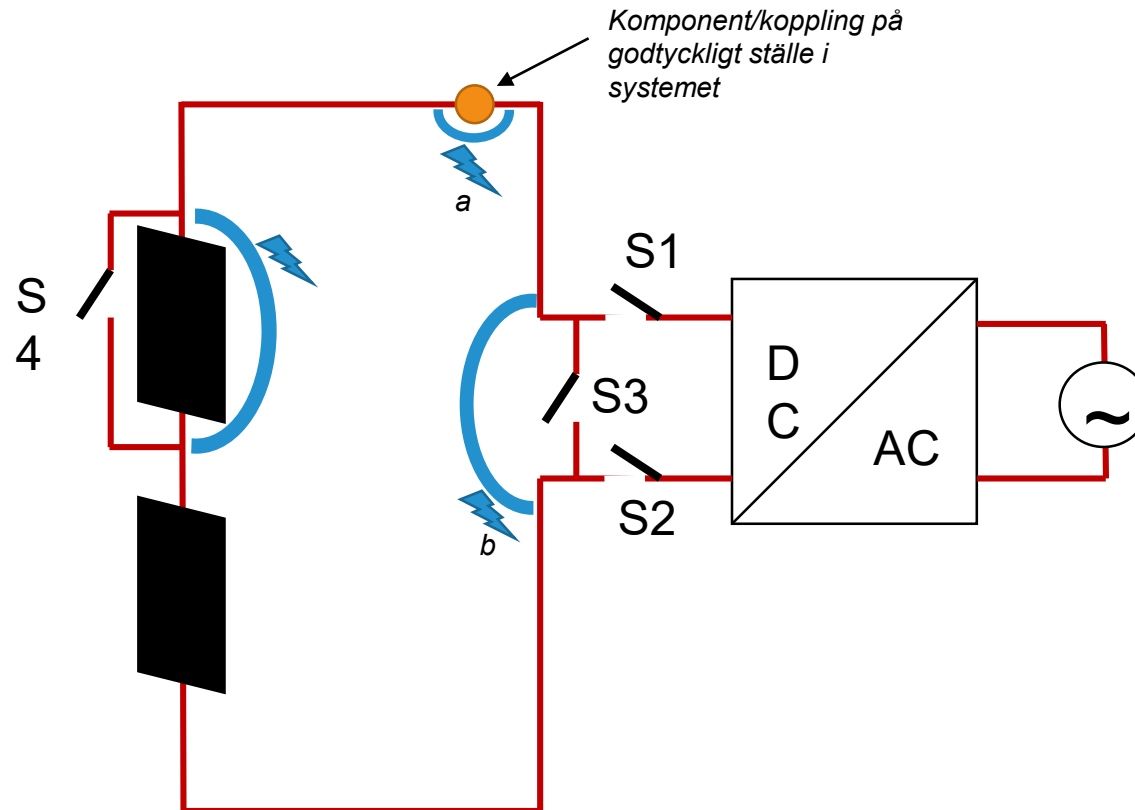
- Parallella ljusbågar
  - Högre spänning → Ökad risk för uppkomst
  - Kontinuerlig spänning → "slocknar inte"
- Seriella ljusbågar
  - Höga temperaturer
  - Stora temperaturväxlingar
  - Fuktigt – inträngning *eller* instängt



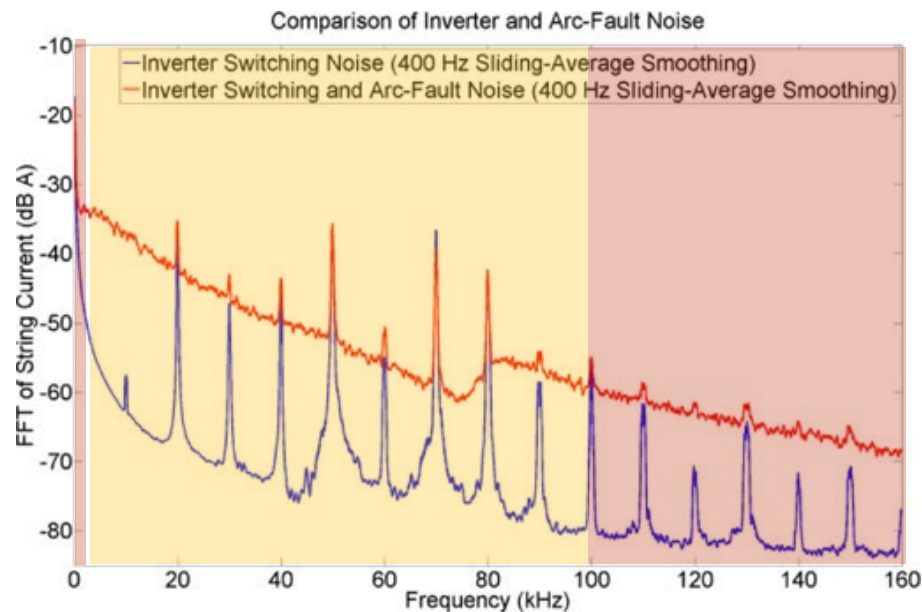
# Ljusbåge



# Olika typer av ljusbågar och hur de kan släckas



# Detektion av ljusbågar

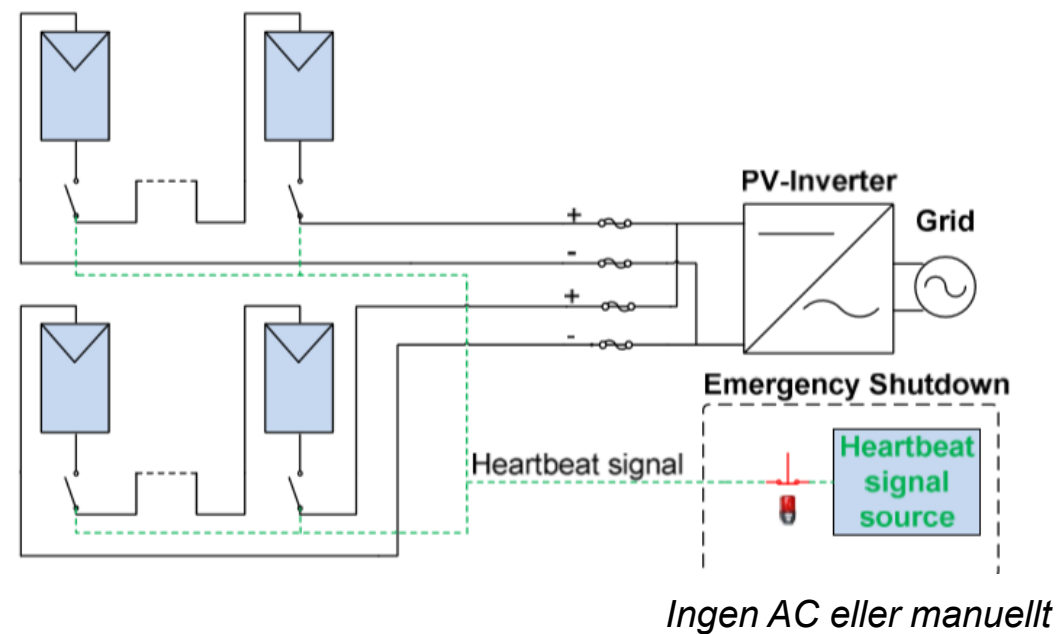


Variationer  
i solljus  
(0-1 kHz)

Switchfrekvenser  
(10-50 kHz +  
övertoner)

Radiosignaler  
(100+ kHz)

# Avstängning för räddningstjänst



VDE-AR-E 2100-712:2018-12

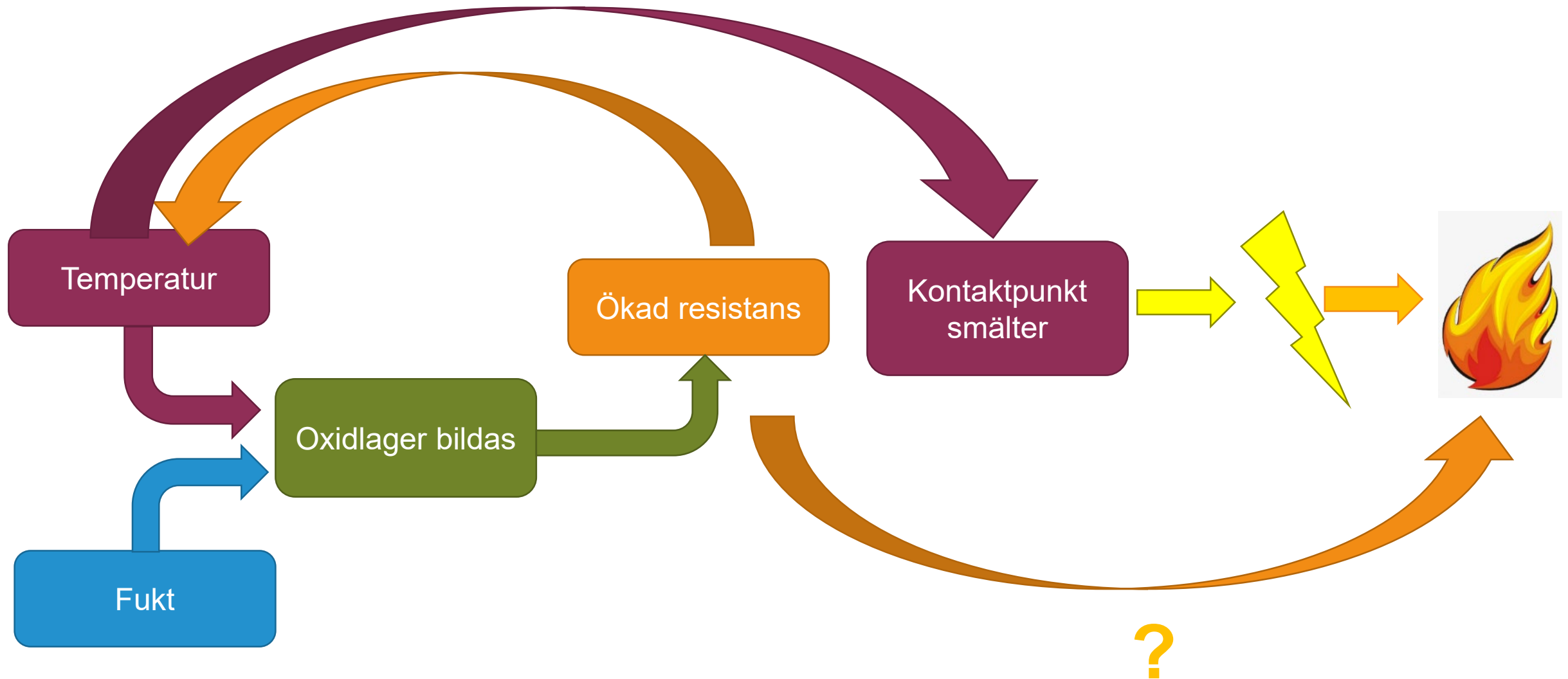
(finns normalt ej i Sverige)



# Parallella ljusbågar

- Spontan ljusbåge kan bara uppstå vid 0,13-0,15 mm mellan ledare  
→ Kräver annan ledare, tex
  - i. Kolat isoleringsmaterial (Arcing-through-char)
  - ii. Vass kant på byggnadsdel
  - iii. Skadedjur
- Oklart vilken som är vanligast

# Seriella ljusbågar



# Seriella ljusbågar

- **DC-brytare som inte motioneras** → Välja högre strömklassning?
- **Kontaktdon** → Ej platsbyggda? Redundanta?
- **Växelriktare** → Produktkvalitet? Kapsling och placering?
- **Säkringar** → Ta bort?



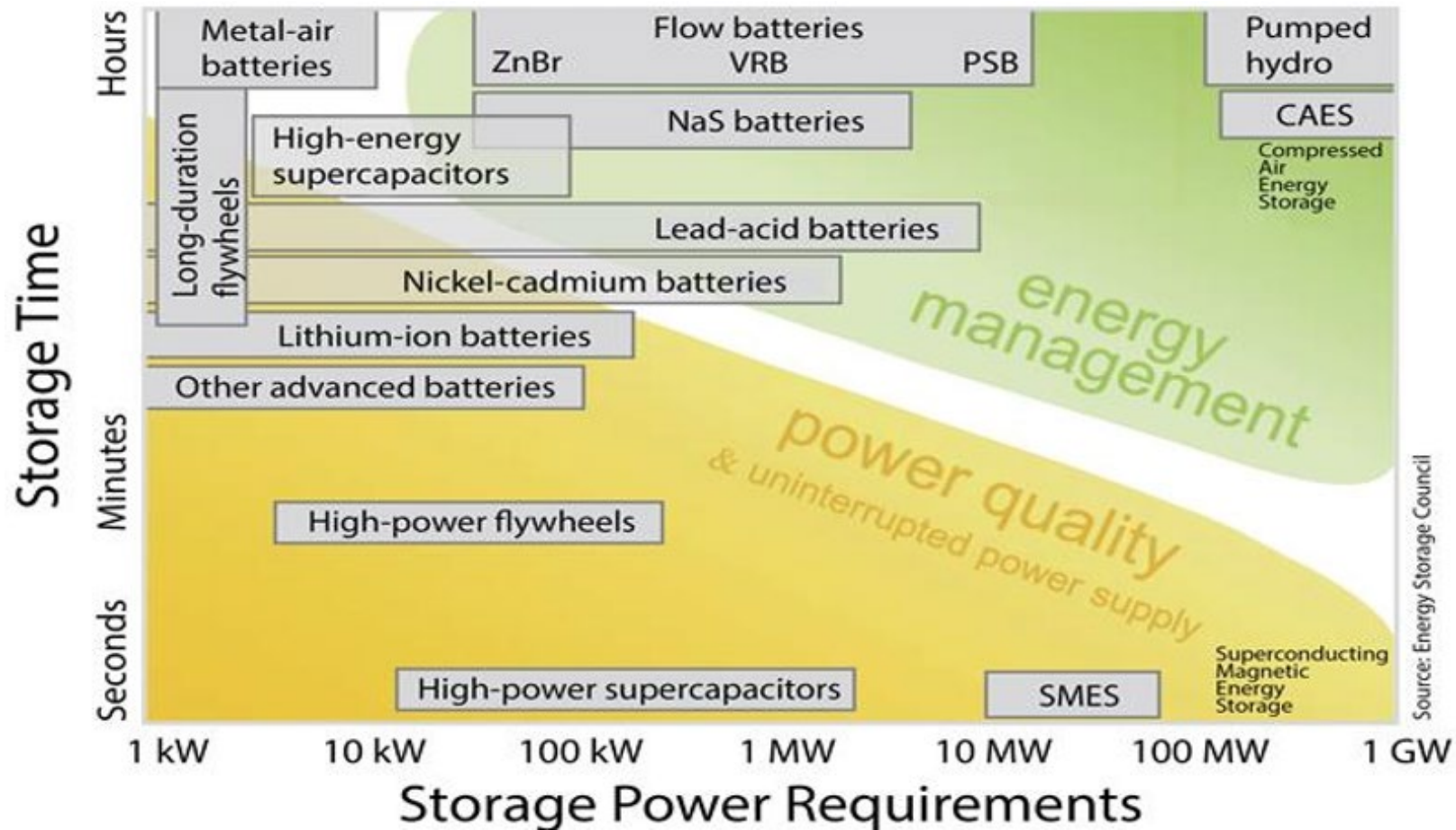
# Normal utformning i Sverige och USA

|              | Sverige         | USA                 | "många andra europeiska länder" |
|--------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|
| Jordfel      | <b>Ojordade</b> | Jordade             |                                 |
|              | -               | Jordfelssäkring     | <b>Jordfelsbrytare</b>          |
| Ljusbågar    | Ej ljusbågsvakt | <b>Ljusbågsvakt</b> |                                 |
| Överströmmar | Säkring         | <b>Ej säkring?</b>  |                                 |

*men...*

**Fetstilt** = Det litteraturen verkar rekommendera

# Batterier



# Batterier



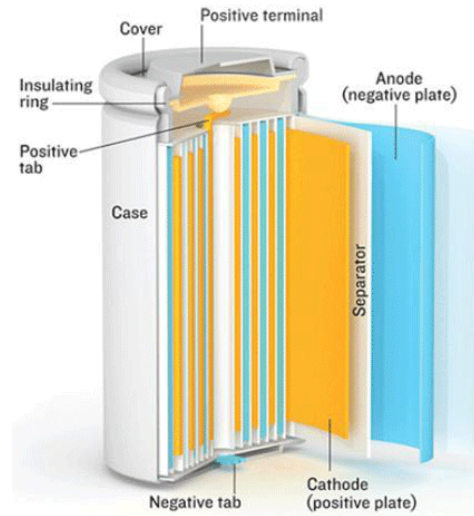
# Li-jon – ett familjenamn

| Electrode           | Formula                                                                                                               | Abbreviation |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Li- Cathodes</b> |                                                                                                                       |              |
| Cobalt              | $\text{LiCoO}_2$                                                                                                      | LCO          |
| Cobalt-mix          | $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$<br>$\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$<br>$x + y + z = 1$ | NMC<br>NCA   |
| Manganese spinel    | $\text{LiMn}_2\text{O}_4$                                                                                             | LMO          |
| Iron phosphate      | $\text{LiFePO}_4$                                                                                                     | LFP          |
| <b>Li- Anodes</b>   |                                                                                                                       |              |
| Carbon / Graphite   | C                                                                                                                     | C            |
| Titanate            | $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$                                                                                 | LTO          |

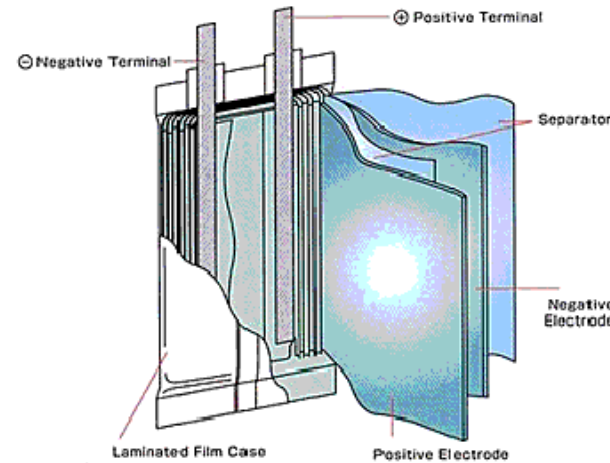
Alla har de en brännbar elektrolyt som består av lösningsmedel och ett flourbaserat Li-jon salt + tillsatser

# Li-jon celler – finns i olika format "packaging"

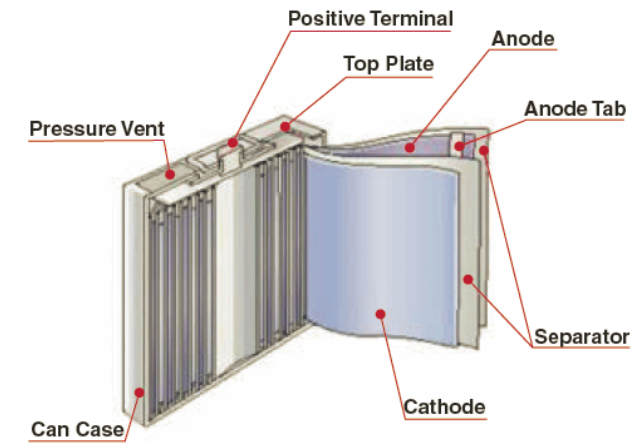
## Cylindrisk



## Påscell



## Prismatisk



# Litium batterier

Primär cell/batteri  
Ej laddningsbar

**Litium-metal batteri  
(Litium batteri)**



t.ex. knappceller  
CR2032  
Sitter i  
brandvarnare, äldre  
kameror

≠

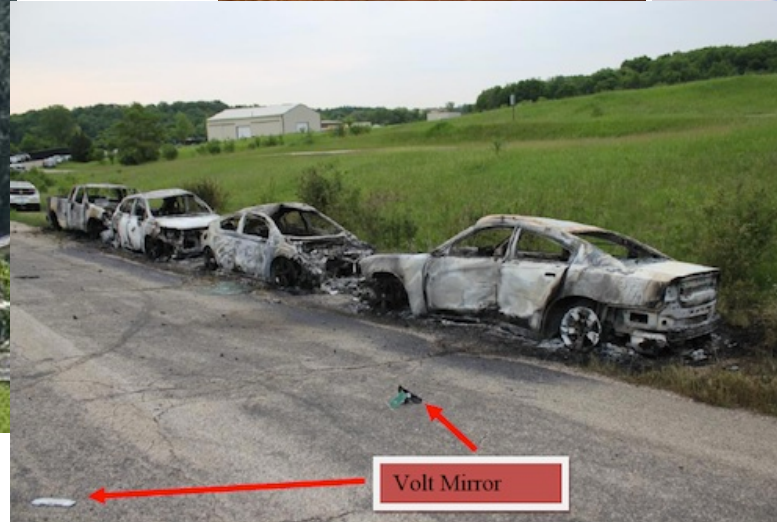
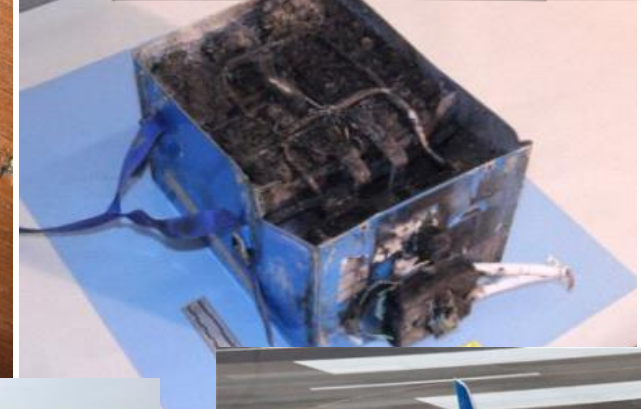
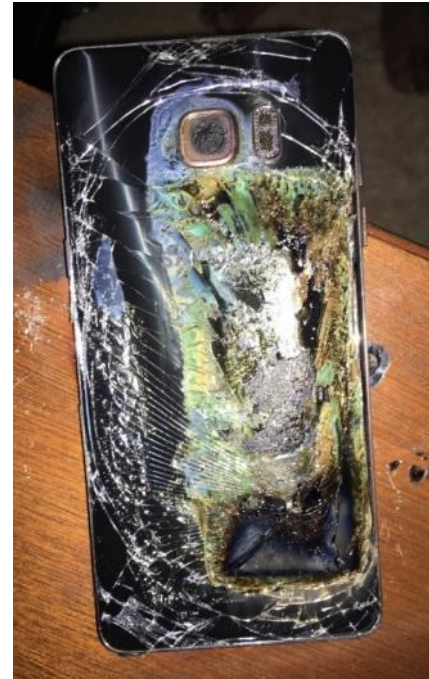
Sekundär cell/batteri  
Laddningsbar

**Litium-jon batteri  
Li-jon batteri  
Li-polymer batteri**

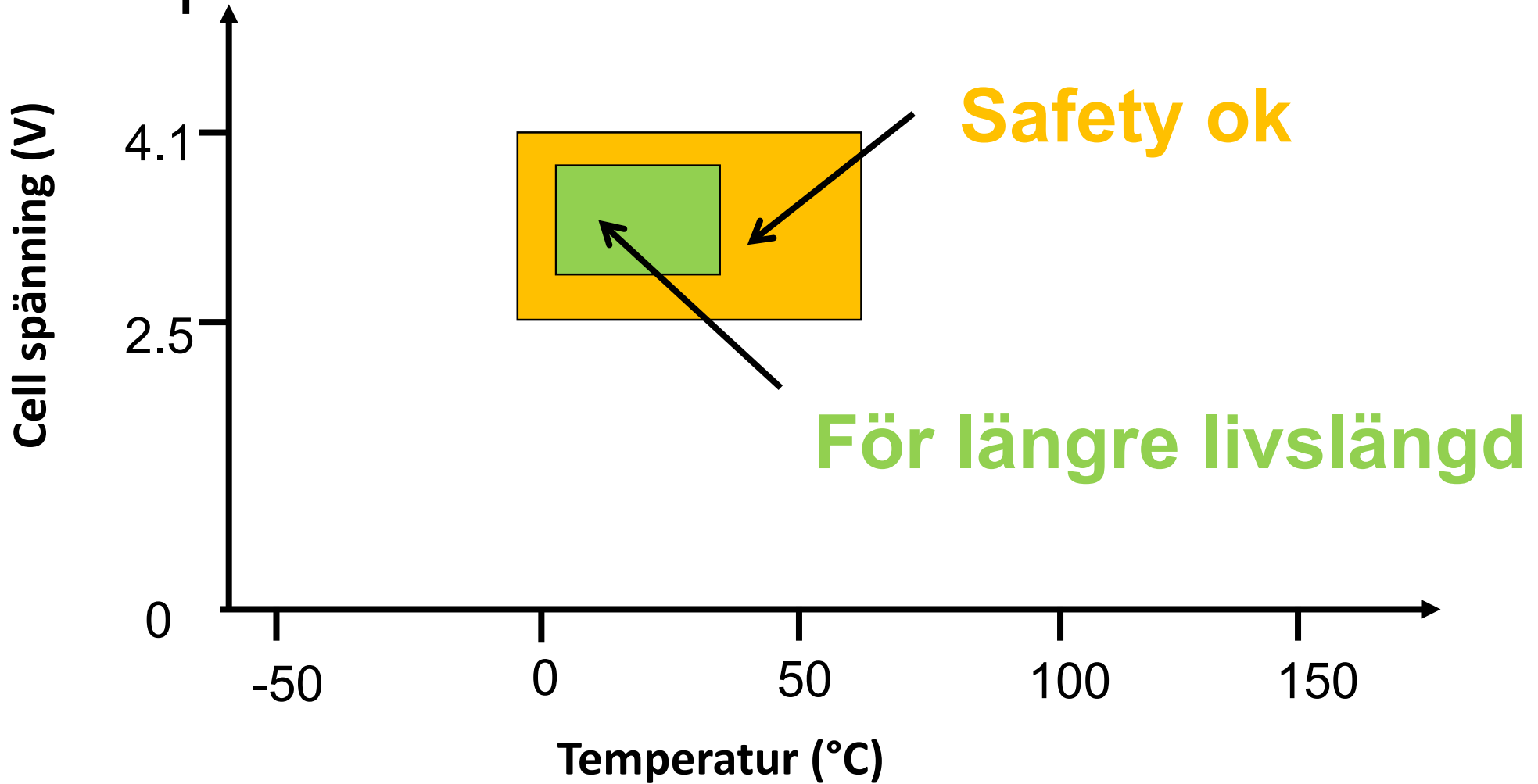


Sitter i  
kameror  
laptops  
mm, mm.

# Li-jon batterier



Är endast stabila inom ett visst område -  
exempel



# Vad kan hända Thermal runaway



Sväller upp-  
elektrolyten  
kokar



Släpper ut  
elektrolyt  
“Venting”

Brand



Ruptur /  
Cellexplosion



## Her jobbar brannmannskapa etter eksplosjonen på ferja: – Vil koste 20 millionar å reparere

Heile bildeket bula ut etter at batterirommet på ei ferje i Sunnhordland eksploderte. Den første brannen i ei batteriferje i Noreg kan få konsekvensar for korleis nye ferjer blir bygd.



Jon Bolstad  
Gjen, noted  
Journalist

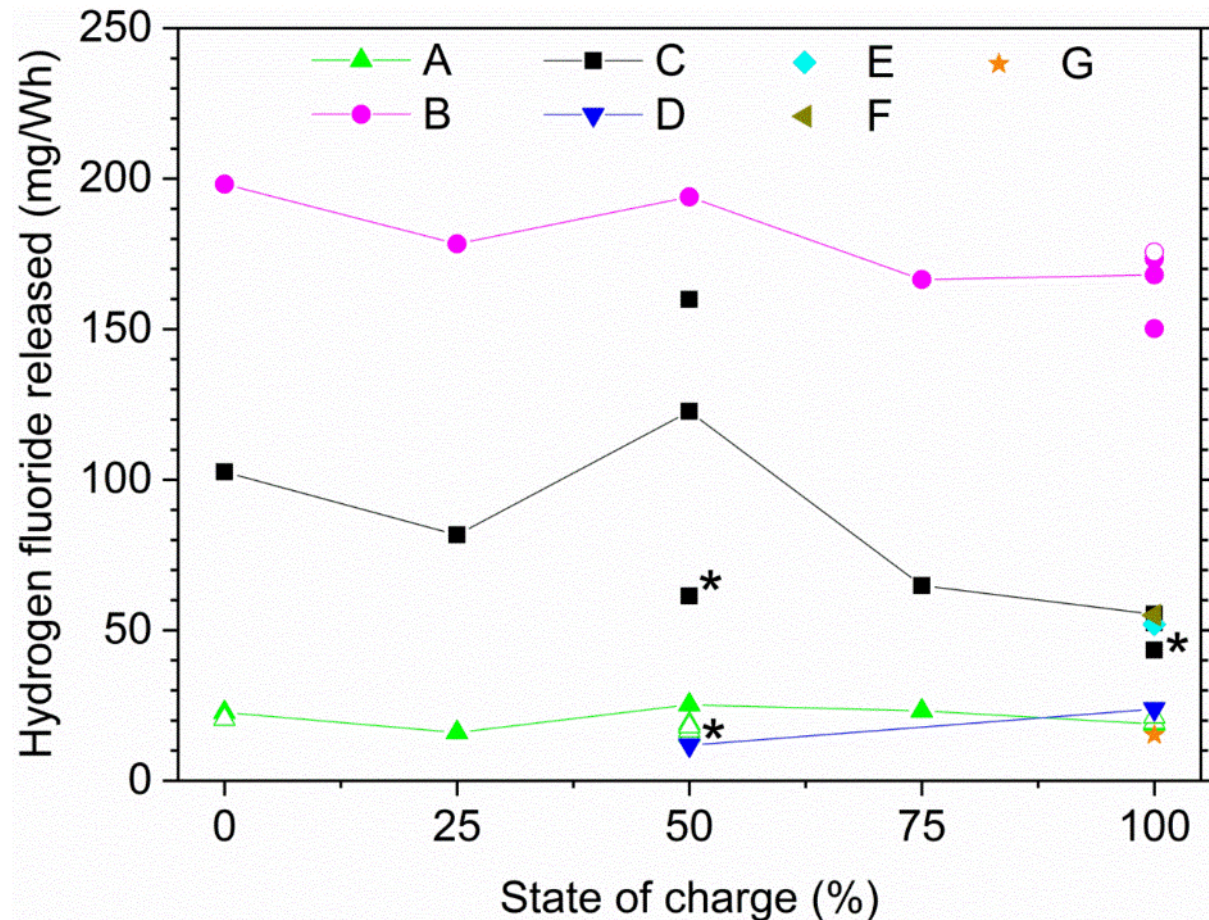
Publisert 13. okt. kl. 14:54  
Oppdatert 13. okt. kl. 18:12

BRANN OG EKSPLOSJON: Det var krevjande arbeidet for brannvesenet då det for første gong brann i ei batteriferje i Noreg. Bildet er tatt med drone og infrarødt kamera.  
FOTO: BEREDEN BRANNVESEN

# Utsläpp av giftig gas – vätefluorid (HF)

Li-saltet innehåller fluor  
Även andra fluorkällor,  
bindemedel etc.

Gör att vätefluorid  
bildas vid brand  
eller andra felfall



# Skyddssystem i batterier

Mechanical crash protection

Thermal management system

System design and cell housing

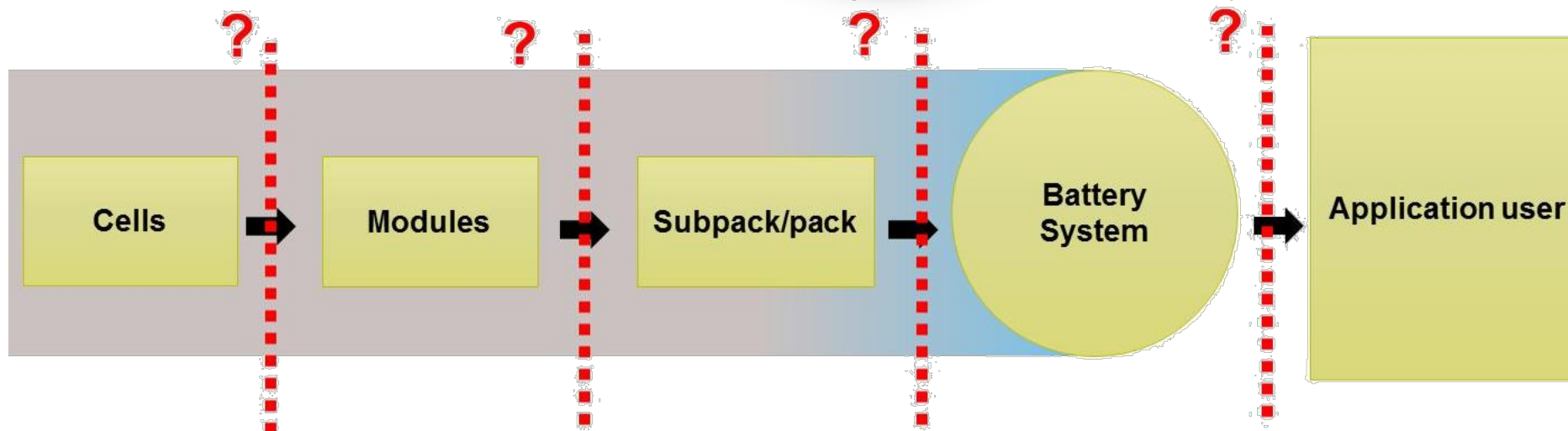
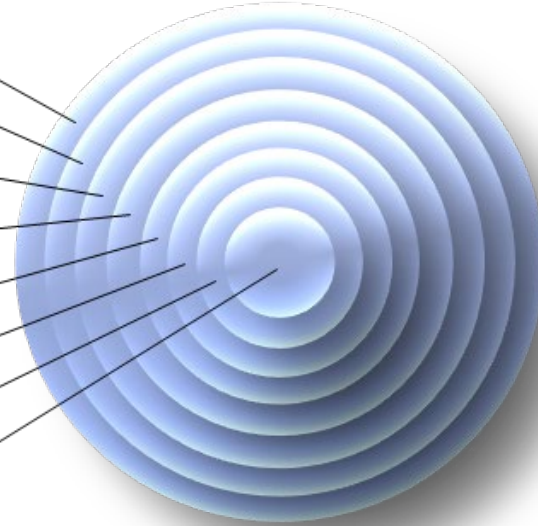
Battery management system

Battery disconnecter (contactors)

Short-circuit protection (fuse)

Cell design and packaging

Cell chemistry



# Uppkomst av brand

- Kvalite på cell
- Skydd i pack/modul
- Styrning
- Omgivning
- Second life

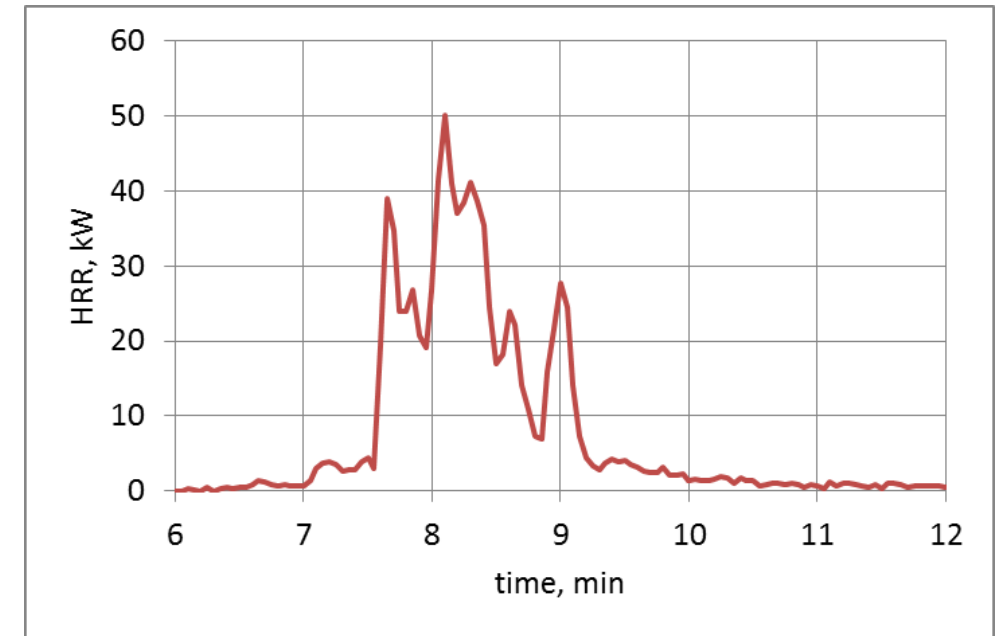
- Temperatur
- Mekaniskt skydd
- Ventilation
- Placering

Kan vara bra men...

- Finns idag inget sätt att avgöra "State of Health" eller "State of Safety" på cell
- Cell och BMS hör ihop – Celler hör också ihop
- Hemmabyggen

# Brandförlopp

- Kan brinna intensivt beroende på laddningsgrad
- Tar lång tid att värma – dvs brand i annat föremål tar lång tid att sprida till batteri
- Kraftig rökutveckling – gaserna är toxiska och brännbara – risk för rumsexplosion
- svårsläckt



# Släckning, räddningstjänst

- Svårsläckt – mycket kylning behövs - återantändning
- En del osäkra på vilket släckmedel man bör använda
- Toxicitet
- Rökgasexplosion
- Kan man gå in?
- Finns idag inga regler/praxis var man kan installera batterier i Sverige.  
Ej heller regler/praxis för brandskydd omkring dem

# Regler i andra länder - USA

Regler för anläggningar på 20-600 kWh

- sprinkler
- 3 fot mellan varje 50 kWh lager (250 kWh för "förbyggda" lager)
- 1-2 timmars brandavskiljning
- Var de får installeras i förhållande till angreppsväg

# Regler i andra länder - Danmark

Vägledning från SafeBESS projektet

- Bör inte placeras i rum där människor uppehåller sig
- Temperatur och fuktighet ska beaktas (20-30 C, ej hög RH), inte små rum.
- Ventilation till det fria designad för att föra bort gaser vid fel.
- Ta hänsyn till batteriets vikt, mängd luft kring batteriet enligt tillverkarens anvisningar
- Fjärrövervakning via web
- Elanslutna branddetektorer med batteribackup som ger larm i hela byggnaden
- Max 30kWh inomhus, max 100 kWh i garage odyl eller mer efter tillåtelse från brandmyndighet
- Nämner även IEC 62619 och IEC 61508-5

# Regelverket i Sverige

- Energilager mha batterier inte med i BBR, för fasta installationer hänvisar man till elsäkerhetsverket
- Konsulter: Allt ifrån "Behandla det som en panna" till "Batterier är en lös installation och ska därför inte vara med i BBR"
- Regler och handböcker förlitar sig ofta på olika standarder men standarder ligger ofta efter i utveckling.



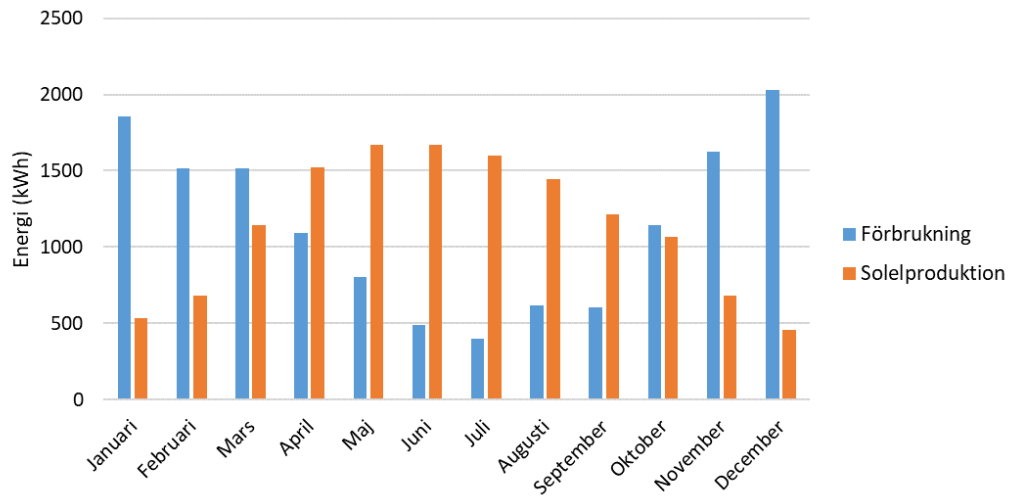
# Standardisering

- Flera kommittéer behandlar batterilager - Sverige deltar i en del
- Standarder kommer och går och överlappar varandra ibland
- Generellt så testas inte batterier under last, dvs när man utsätter dem för något felfall så används de inte utan är vilande
- Kravet är ofta ”no fire/no explosion”, dock är det ingen tändkälla i närheten som det kan vara i verkligheten. Ventilering av brännbara och giftiga gaser är tillåtet
- I propageringstestet i SS-EN 62619 som publicerades 2017 är kravet ingen brand utanför batterilådan, ingen ruptur inom en timme. Man anger inte vid vilken SOC man ska testa, SOC nivån kan ha stor betydelse för hur det beter sig. Man kan välja att köra på pack eller cellnivå. Kravet på cellnivå är ingen brand. Men en intern kortslutning kan generera värme utan att brinna.
- En del test onödiga/inge falsk säkerhet

# Vätgas och bränsleceller

# Bränsleceller

## Varför bränsleceller?



## Varför inte bränsleceller?

- **Verkningsgrad** (ca 50% jämfört med ca 80% för batterier)
- **Risker** med vätgaslagring

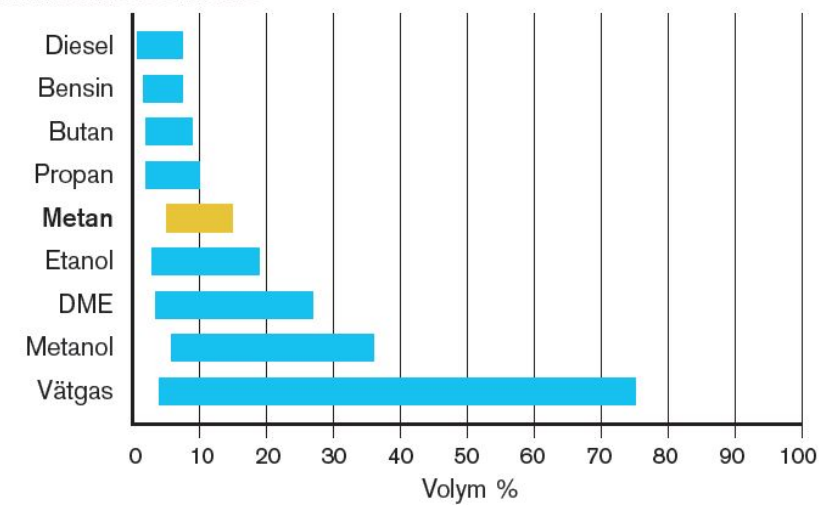


# Risker med vätgaslagring

- Ökad risk för läckage pga. små molekyler
- Stort brännbarhetsområde
- 10 ggr flamhastigheten jämfört med naturgas
- Större risk att övergå till detonation



Brännbarhetsområde



# Tack för er uppmärksamhet!

Michael Försth, Luleå tekniska universitet, [michael.forsth@ltu.se](mailto:michael.forsth@ltu.se)

Marcus Runefors, Lunds Tekniska Högskola, [marcus.runefors@brand.lth.se](mailto:marcus.runefors@brand.lth.se)

Petra Andersson, RISE, [petra.andersson@ri.se](mailto:petra.andersson@ri.se)

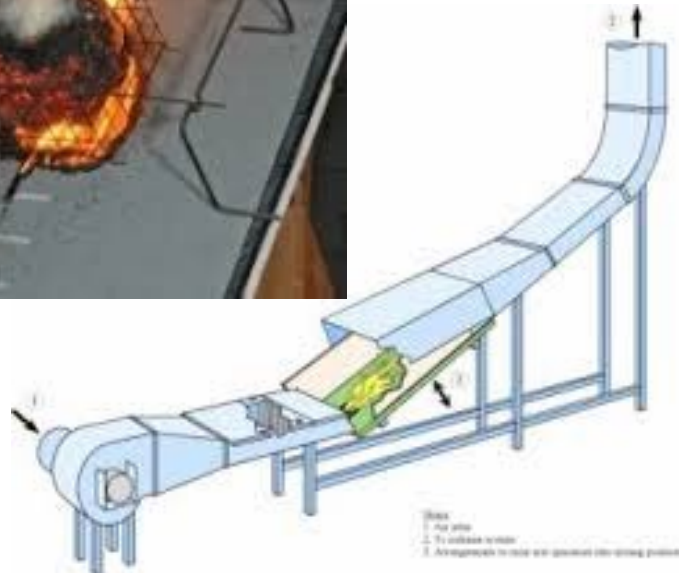
# Förslag på åtgärder

# Solpaneler

1. Det finns mycket få experimentella och teoretiska studier av brandutveckling i solcellsinstallationer. Sådan prenormativ forskning är nödvändig för att utarbeta nya regler och riktlinjer.
  - a) Hur påverkar det underliggande materialets egenskaper brandutvecklingen?
  - b) Hur påverkar mellanrummet mellan moduler och underlag brandutvecklingen, exempelvis lutningsvinkel, avstånd och storlek på modul.
  - c) Under vilka förhållanden kan brandspridning till den underliggande konstruktionen ske.
  - d) Speciellt för fasader saknas tekniskt underlag för hur branddynamiken påverkas av mellanrummet mellan underlag och solcellsmodul. Fasadbränder har visat sig kunna vara förödande om denna aspekt inte beaktas.
  - e) Hur bör sektionering utföras på ett effektivt sätt, med samtidigt beaktande av hur brandspridning undviks, hur tillträde för räddningstjänst underlättas (för takinstallationer), och behovet av största möjliga elgenererande yta.
  - f) Fullskaliga försök för att erhålla förståelse om hur brandrisken skiljer sig mellan byggnadsintegrerade och byggnadapplicerade solceller.
2. Idag är de flesta testmetoder inte anpassade till solcellmoduler. Vilka testmetoder saknas och kan några väl valda existerande testmetoder vidareutvecklas?

# Solpaneler

Dagens testmetoder är inte anpassade för solceller



Det behövs provningsmetoder, standarder och regler baserade på vetenskaplig grund och beprövad erfarenhet



Foto: RISE Fire Research



Foto: J. S. Kristensen, B. Merci, and G. Jomaas, 'Fire-induced reradiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs', Fire and Materials, 2017.

# Solpaneler

1. Det finns mycket få experimentella och teoretiska studier av brandutveckling i solcellsinstallationer. Sådan prenormativ forskning är nödvändig för att utarbeta nya regler och riktlinjer.
  - a) Hur påverkar det underliggande materialets egenskaper brandutvecklingen?
  - b) Hur påverkar mellanrummet mellan moduler och underlag brandutvecklingen, exempelvis lutningsvinkel, avstånd och storlek på modul.
  - c) Under vilka förhållanden kan brandspridning till den underliggande konstruktionen ske.
  - d) Speciellt för fasader saknas tekniskt underlag för hur branddynamiken påverkas av mellanrummet mellan underlag och solcellsmodul. Fasadbränder har visat sig kunna vara förödande om denna aspekt inte beaktas.
  - e) Hur bör sektionering utföras på ett effektivt sätt, med samtidigt beaktande av hur brandspridning undviks, hur tillträde för räddningstjänst underlättas (för takinstallationer), och behovet av största möjliga elgenererande yta.
  - f) Fullskaliga försök för att erhålla förståelse om hur brandrisken skiljer sig mellan byggnadsintegrerade och byggnadapplicerade solceller.
2. Idag är de flesta testmetoder inte anpassade till solcellmoduler. Vilka testmetoder saknas och kan några väl valda existerande testmetoder vidareutvecklas?
3. När frågorna ovan är besvarade: Var, hur och i vilken omfattning ska solcellsanläggningar tillåtas installeras och vilka krav ska ställas på brandskyddet.

# Distribution

1. Vad är vanliga orsaker till att parallella ljusbågar uppstår? En metod för att undersöka detta är att studera skadorna på kablarna efter brandincidenter [NFPA, 2017]
2. Var uppkommer seriella ljusbågar vanligen i moderna solcellssystem? Undersöks förslagsvis genom utredningar av inträffade bränder.
3. Hur kan inverterare och andra kritiska komponenter utformas och placeras för att minska risken för stor brand?
4. När frågorna ovan är besvarade: Hur bör ett moderniserat regelverk och moderniserade provningsstandarder utformas.

# Energilager

1. Regler/praxis/installationskrav för batterilager i byggnader.
  - a) Vilka standarder och krav bör implementeras i Sverige? Många standarder anger inte ett klara / icke klara krav. Det är viktigt att regelverk anger vilka utfall som är acceptabla.
  - b) Är standarderna heltäckande eller är det något test/scenario som saknas? Behövs vidareutveckling av de test som finns? Många standarder har sitt ursprung i andra batterityper.
  - c) Var och i vilken mängd kan/bör batterilager installeras?
  - d) Krav på omgivande brandskydd/brandmotstånd?
  - e) Vilka krav bör ställas på ventilationen för energilager med Li-jonbatterier? Det finns idag inga studier gjorda på hur gaserna sprider sig, ej heller finns det publika data för hur mycket som bildas vid fullskaleförsök.
  - f) Behövs märkningsregler liknande regler för gasflaskor mm?
2. Hur göra insats mot brand som kan inkludera batterier? Här behöver både exponering mot giftiga gaser och släckmetoder beaktas. Vilka krav bör man ställa på var laddstationer ska få finnas med tanke på t.ex. utrymningsvägar och access för räddningstjänsten?
3. Andra metoder för energilagring, t.ex. vätgas, analysera risker kopplade till dessa