

# Solceller och Batterier i Krossanläggningar

Hur skall man tänka när det gäller  
solceller och batterilager?

Sten Bergman

StonePower AB

I Projekt SBUF 1410 har en specifik frågeställning preciserats angående nämligen:

**Vilken Energimängd ett batteri bör ha givet en viss installerad soleffekt?**

Frågan skulle möjligen ha kunnat vara den omvända.

**Vilken Solcellsproduktion skulle kunna vara optimal, givet en viss given Energilagringsskapacitet i befintliga batterier?**

Frågorna kopplar även till s.k. svaga elnät och de speciella krav som kan finnas från elnätsföretag.

Frågeställningarna studeras i nedanstående diskussionsunderlag/rapport.

## Sammanfattning

Studien visar att beroende på ansatsen så kommer nyttoeffekterna att uppträda på lite olika vis. Om vi börjar med den senare frågeställningen så är den mest intressanta ur ett lönsamhetsperspektiv. Nämligen om det är så att krossningen inte får anslutas till elnätet på grund av för höga startströmmar och eventuella effektpendlingsproblem (elkvalitet). I dessa fall blir just batteriet det som kan möjliggöra en anslutning genom dess förmåga att kapa startströmmar och i vissa fall dämpa pendlingsar.

Analyserna visar på en snabb återbetalning (ROI) mindre än ett år genom att dyr diesel växlas mot billigare el och en effektivare process. När väl batteriet finns på plats kan dess funktion alltså innebära ytterligare fördelar genom att batteriet även kan lagra och leverera el vid lämpliga tidpunkter. Ju större batteri desto större blir ellagringsförmågan. Med stor förmåga ökar också nyttoeffekter om batteriet till exempel kan användas för frekvensregleringstjänster till Svenska Kraftnät. Större batterier skapar även en ökad robusthet för både kortare och längre elavbrott.

I fallet att anläggningen redan är, eller utan större problem kan anslutas till elnätet, blir systemnyttan med batterier och eventuell solcellsinstallation mer komplex och återbetalningstiden kan variera betydligt. Detta beroende på investeringskostnader och prisbilder för köpt respektive såld el. Analyserna som genomförts pekar på ROI mellan 8-30 år. I gynnsamma fall och med antagande om att pågående kostnadssänkningar för batterier håller i sig kommer dock återbetalningstiderna att kunna bli rimliga inom några få år. ROI varierar istället mellan 6-10 år.

Studien visar på att solcellsinstrålningen enbart ger en begränsad nytta utom vid väldigt stora installationer (1-2 MW). Kompletteras energi-produktionen med till exempel småskalig vind kommer dock situationen att bli bättre. Detta genom att dessa ofta kan komplettera varandra.

Ovanstående studie kom därför att kompletteras med ett resonemang om

småskalig vind, men även med en ansats om produktion/lagring och el-generering via vätgas.

En bränslecell med ett mindre batteri skulle alltså kunna göra anläggningen betydligt lönsammare, då energin kan långtid-lagras i vätgas och därmed användas över längre perioder, än vad traditionella batterilager medger (dygnsvariationer). ROI för ett normalstort system skulle enligt preliminära beräkningar kunna uppvisa återbetalningstider ner mot 4-5 år.

### **Introduktion - innehåll**

Inledningsvis beskrivs en krossanläggnings effekt/energibehov i ett generaliserat fall: Förkross, Konkross samt ev. siktar/transportband.

I kapitlet om solceller beskrivs översiktligt hur en solcellsanläggning kan se ut och vilken elproduktion som kan förväntas vid olika stora anläggningar. Dessutom diskuteras kostnaderna för solceller idag och prognos för utvecklingen kommande år ges.

I Analysdelen görs generella ansatser runt investeringskostnader, samt kostnader för köpt el och prisersättning för såld el. I detta kapitel beskrivs några givna scenarier och en grov känslighetsanalys genomförs.

I sammanfattningen presenteras en komprimerad del av analysen med kommentarer kring en möjlig fortsatt utredning.



Mobilt mindre batterilager (50 kWh) från Xelectric/ Hugo Tillqvist.

# Krossanläggningars energi och effektbehov

Inom bergmaterialindustrin används både stora och små krossanläggningar. Dessa utgörs i regel av en förkross, en efterkross (konkross) samt transportband. I denna studie görs en generalisering av dessa storleksmässigt för att kunna erhålla en kvantitativ uppfattning kring krossanläggningars uppskattade effekt/energibehov.

De uppgifter som finns gör gällande att krossverksamhet bedrivs under perioden mars-nov. Dvs under åtta månader varav en månad är semestermånad. Krossning sker måndag till torsdag kl 07:00 till kl 19:00. Dvs tolv tim varav avbrott sker en halvtimme förmiddag och en halvtimme eftermiddag, samt lunchavbrott mellan kl 12-13.

Den verk samma arbetstiden för krossanläggningen är alltså 10 tim om dagen 4 dagar per vecka. Totalt 40 tim per vecka om inte helgdagar kommer in i bilden. I analysen antas att krossen körs 4 veckor per månad. Total drifttid blir då teoretiskt 1120 tim. I praktiken sker dock avbrott av olika skäl. Därför ansätts i analysen en maximal drifttid om 142 tim per mån under 7 mån. Dvs en effektiv drifttid om 1000 tim. Arbetet sker under 112 dagar medan resterande 253 dagar är krossverksamheten vilande.

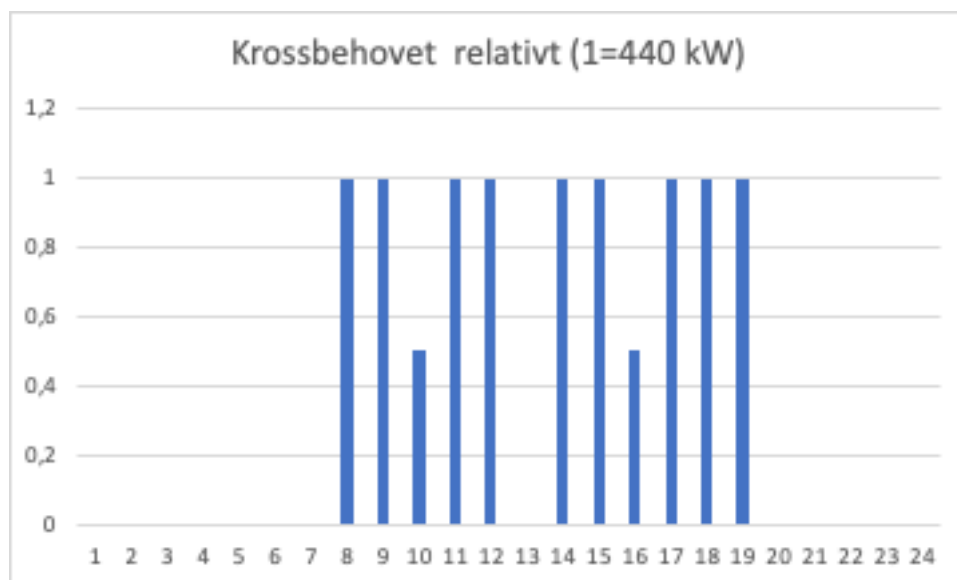


### Krossanläggning i Barkarby

Krossmotorerna märkeffekt uppskattas till 200 kW för en förkross, 300 kW för en konkross och ca. 50 kW för transportband. Den faktiska belastning (enl uppgift) lär uppgå till 80%. Krosseffekten blir grovt räknat således  $550 \cdot 0,8$  dvs 440 kW.

Under krossning sker dock en pendling av effekten med ca 100-150 kW och en frekvens kring 3-4 Hz. Detta påverkar dock ej medeleffekten och det samlade energibehovet utan enbart effektbehovet för stunden.

En nätanslutning, som i detta fall, måste således klara drygt 750 kVA. Tas startströmmar med i beräkningen bör en anläggning dimensioneras för minst 1-1,5 MW. Effektbehovet påverkar nätavgiften, medan energiförbrukningen relaterar till medelenergin. Dessa storheter avtalas separat. Till nätavgiften hör även miljöskatter. Dvs förbrukning av aktiv effekt.



Figur: Krossbehovet under ett arbetsdygn

Ur detta kan utläsas att en krossanläggning behöver 4 400 kWh/dygn. Årsförbrukningen uppgår till totalt till 492 800 kWh om vi räknar med en driftsäsong på totalt 112 dagar under 6<-8 mån.

Elkostnad kan uppskattas till runt **700 000 – 1 000 000 kr** att jämföra med en energikostnad på minst **2,8 -3,4 MSEK** om **krossanläggningen drivs på diesel!** Elektrifieringen sänker alltså energikostnaden med minst 50%.

Detta är helt i paritet med vad som även gäller för dieselfordon kontra eldrivna fordon. Resultatet beror på eldriftens höga energiverkningsgrader jämfört med explosionsmotorernas.

Krossningens energibehov kan indelas i minst tre olika "arbetsfaser".

- Start och stopp
- Tomgångsdrift
- Krossning av bergmaterial inkl. skiktning/separering

Energibehovet i de olika momenten varierar. Vad som dock varierar mer är effektbehoven. Vid start kan effektbehovet lätt överskrida 1 MW medan tomgångseffekter ligger närmare några 10-tal kW.

Vid krossning varierar effekten pga av krossens rotation. I regel uppmärksammas en större effekt-variation. Denna variation ligger typiskt



inom området 3-6 Hz och de nätstörningar som då kan uppkomma benämns i regel flimmer. I den efterföljande analysen betraktas i regel endast medeleffekten som erfordras för krossning av berg. Denna uppgår typiskt mellan 1,1-3,1 kWh/ton bergmaterial. I analysen används värdet 2 kWh/ton.



Krossanläggning i Rotebro

# Energiproduktion från solceller

## Vilken energiproduktion kan förväntas av en solcellsanläggning?

Installation av solceller i takter kan vara en intressant möjlighet i vissa fall. Skälet är att i regel större arealer kan vara tillgängliga i närområdet av krossningen. Arealer som möjligen skulle kunna utnyttjas för permanent eller tillfälliga solcellsinstallationer beroende på driftsäsonger m.m.

Solceller producerar normalt mellan 150 – 220 kWh per kvadratmeter och år. En normalstor solcellsanläggning på 50 m<sup>2</sup> förväntas producera ca 7 500 – 12 000 kWh per år. Vad som främst påverkar elproduktionen per kvadratmeter är solpanelernas verkningsgrad, lutning, riktning och solinstrålningen i området.

### Fem faktorer bedöms påverka solcellernas elproduktion;

- **Solinstrålningen i området:** Mer solinstrålning ger högre elproduktion.
- **Solcellernas placering:** Söderläge med 45° lutning ger mest el.
- **Skuggning:** Paneler som skuggas på dagen ger lägre elproduktion.
- **Snötäckning:** Snö kan minska årliga elproduktionen med 3 – 7 %.
- **Verkningsgrad:** Anger hur mycket av solljuset som kan bli till el.
- **Storleken på solcellsanläggningen:** Större anläggningar ger mer el.

### 1. Solinstrålningen i området

Solinstrålningen är en av de viktigaste faktorerna för hur mycket elektricitet en solcell producerar. I Sverige har vi en genomsnittlig årlig solinstrålning på ca 1 060 kWh per kvadratmeter. På Gotland är den som allra högst är upp till 1 200 kWh/m<sup>2</sup>, medan i Norrland är den ibland så låg som 800 kWh/m<sup>2</sup>.

Viktigt när det kommer till solinstrålning är att den kan variera upp till 10 % från år till år.

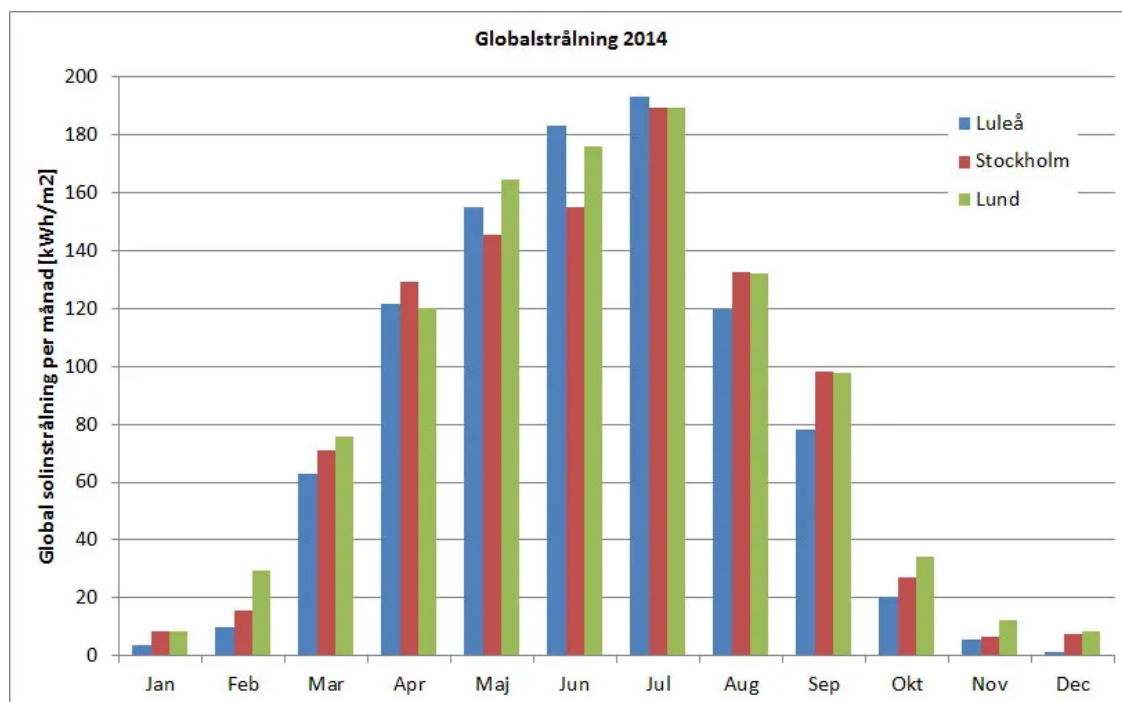
## 2. Solpanelernas placering

Solcellernas lutning och riktning påverkar hur mycket el som produceras. Solceller producerar som mest el när de placeras i sydligt väderstreck, och med en lutning på 30 – 45 grader. I de fall solceller förses med solföljarfunktion kan utbytet öka upp mot 10-20%.

## 3. Om solcellerna utsätts för skugga och molnighet

Om solcellerna skuggas av något närliggande objekt såsom en byggnad eller ett träd påverkas solelproduktionen under den perioden området är skuggat. Om det uppkommer moln så kan elproduktionen sjunka med mer än 50%. Variationen av elproduktionen kommer med andra ord att bli stokastisk vid förekomst av moln.

Solen ger olika energivärden beroende årstid och soltimmar vilka kan erhållas på en viss longitud.



Ur grafen ovan kan man dra slutsatsen att ca 90% av solinstrålningen sker under mars till november. Dvs under krossäsongen som valts i denna studie. Grafen tar dock hänsyn till hela dygnets produktion. Skulle man avgränsa produktionen från solinstrålningen enbart till de tider som krossanläggningar körs, blir skillnaden mellan månaderna något mindre då krossning oftast sker under dagtid (ex.vis kl 08:00 -19:00).

För en detaljerad analys måste man därför analysera situationen månad för månad och korrigera för maximal solinstrålning. Denna studie gör dock en förenkling genom att anta ett rimligt medelvärde för perioden mars-okt.

Det använda medelvärde ligger då på 100 kWh/m<sup>2</sup> solcellsytta. En solcellsanläggning, säg på 400 kWp, skulle då behöva en yta på minst 1 312 m<sup>2</sup>.

I analysen utgår vi endast från uppskattad medelvärdesjusterad effektproduktion. I en fördjupad analys måste man därför korrigera månadsvis för maximal solcellsproduktion.

Det finns många uppgifter vad solceller kostar. Detta beror i regel på att

systemen inte är alltför standardiserade och att man räknar på många små anläggningar. För större anläggningar finns uppgifter på bla 7 kr/W medan andra säger 2 750 kr/m<sup>2</sup> solcellsytan.

I analysen nedan skulle således en anläggning för 400 kWp kosta 2 800 000 kr enligt effektuppgiften, medan den skulle kosta 3 600 000 om man utgår från solcellsytan.

I studien används uppgiften om 10 kr/W för en översiktlig kostnadsberäkning.

Denna kostnad är dock fortfarande under förändring. Prognoser finns för de kommande 10 åren att solcellspriser kan komma att sänkas med så mycket som 50%. Detta skulle svara mot en framtida kostnad mellan 3-5 kr/W. Konsekvenser av detta belyses övergripande i sammanfattningen.



Exempel på fix solcellsuppställning

# Beräkningar/analyser

Studien baseras på ett antal **generaliserade förutsättningar**. Dessa omfattar bla kostnader och prissättning på köpt och såld el. Dessutom antas specifika investeringskostnader för de olika elproduktionsmetoderna (sol, vind) samt för Li-jon batterier.

Dagens priser jämförs i analysen också med prognoser för prissättning i framtiden. Det kan påpekas att samtliga parametrar är behäftade med stora osäkerheter. I sammanfattningen nämns dessutom möjligheten till eventuella FoU eller Investeringsbidrag.

## Allmänt om analysen

Analyserna baseras på de fixa parametrar som angavs i föregående avsnitt. Variationerna i de valda scenarierna baseras på given Solcellskapacitet (kWp) och variation av Energilagrets storlek. Referensfallet baseras på ett system som inte har vare sig solceller, vind-produktion eller batterilager. Besparingar räknas som skillnaden mellan referensfallet och det aktuella raset.

*Beräkningarna har genomförts på följande sätt:*

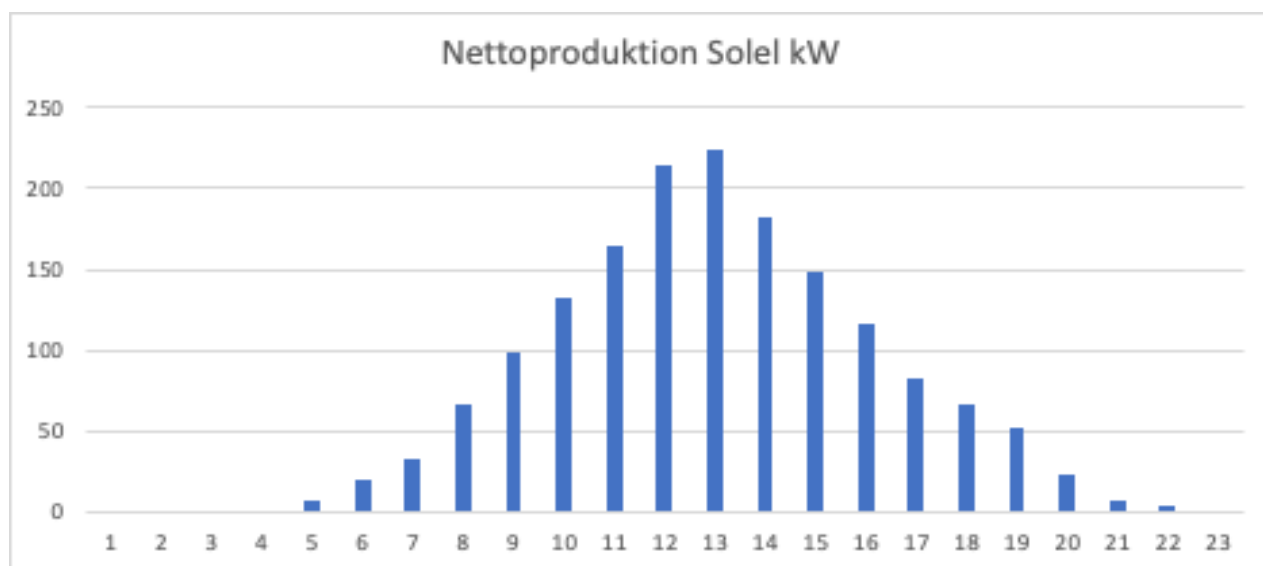
- Producerad eleffekt från solceller matchas mot krossens effektbehov (kWh/h) räknat över dygnets samtliga timmar (24 tim).
- Under varje dygnsperiod beräknas en energidifferens, som om den är större än noll antingen laddar batteriet till dess övre gräns, eller om batteriet är fulladdat, säljs till nätet.
- Är differensen negativ används i första hand energitillgången i batteriet till dess värde är noll, därefter köps resterande energi från nätet.
- Under natten fylls batteriet upp till maximum för att varje morgon

vara fulladdat (100%).

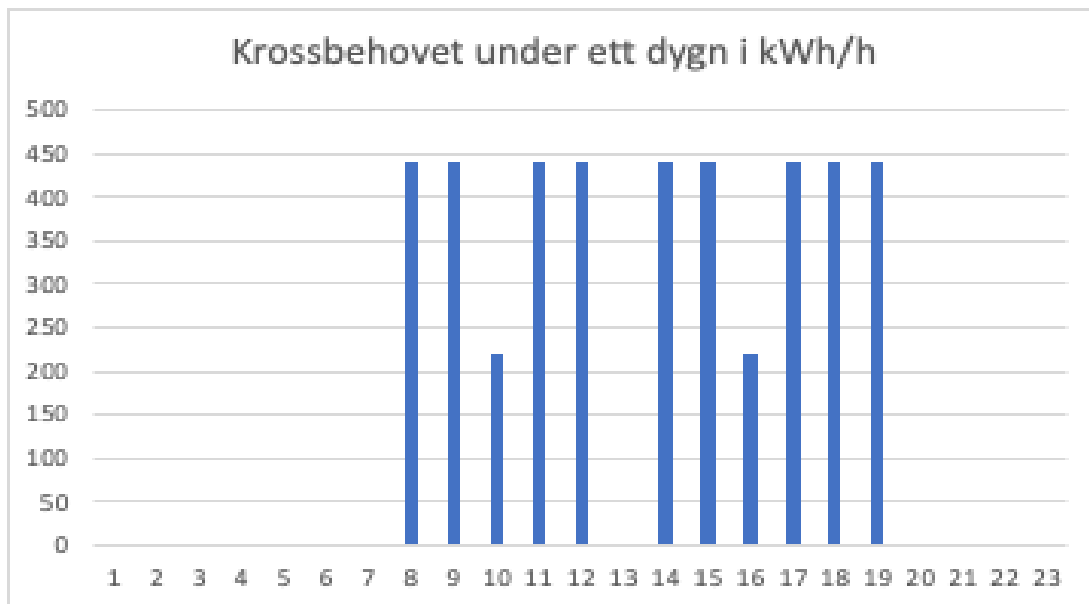
- Varje dygn innebär således ett netto köpt/såld effekt samt den lokala produktionen under dygnet. Köpt resp såld el betingar olika priser. Till den köpta energin tillkommer dessutom nätagift och miljöskatter.

Resultatet av beräkningarna blir alltså en "fiktiv" besparing på skillnaden mellan referensfallet och det aktuella analysfallet, med övriga parametrar konstanta och oförändrade.

För beräkning av ROI sker en investeringsberäkning baserad på energislag, storlek och specifik kostnad. Den sammanlagda besparingen per år jämförs med totalkostnad för investeringen. Inledningsvis tas inga andra möjliga inkomstkällor upp **en ren besparing av konsumerad energi från elnätet.**

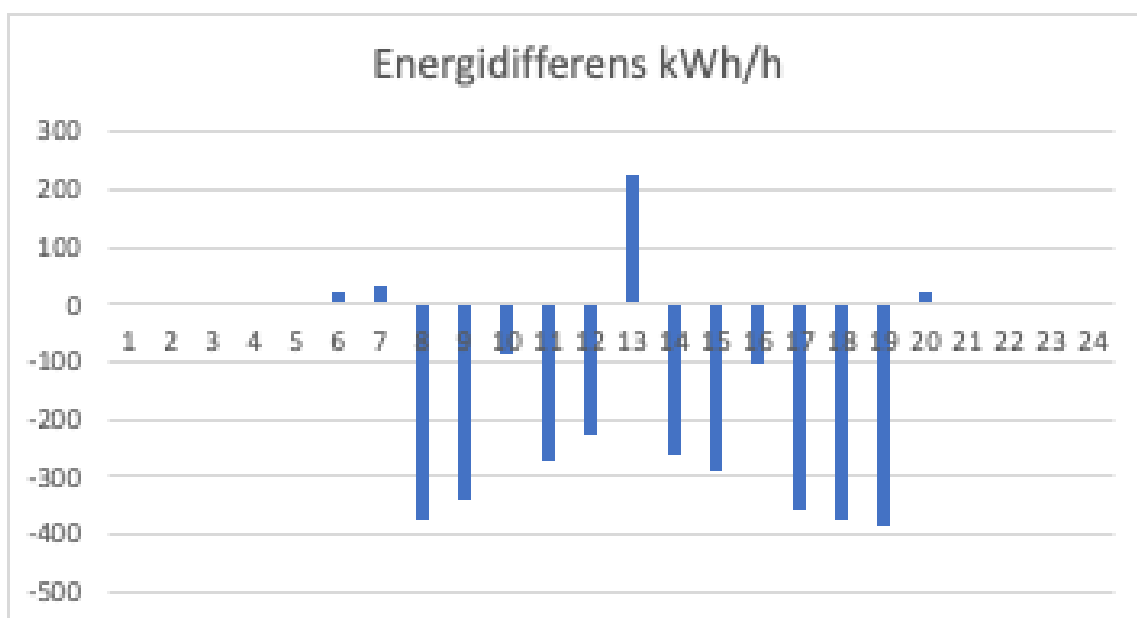


Denna graf visar nettoproduktionen över en typisk dag, med sol från 05:00 till 22:00. Antagen installerad Peak effekt 500 kW.



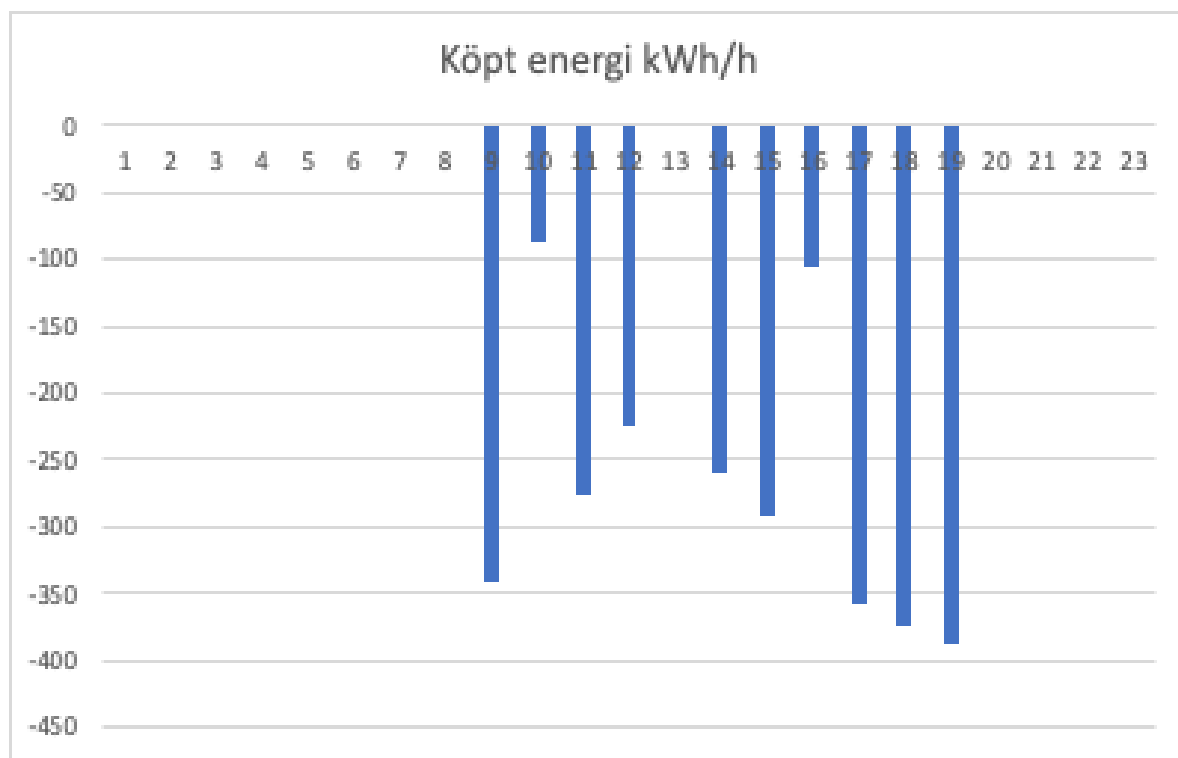
Denna graf visar krossbehovet per timme.

Motsvarande differens blir alltså enligt grafen nedan



Den sålda energin blir, i fallet med ett 500 kWh batterilager, enligt nedanstående graf.





Här framgår att behovet av köpt el är större under perioder då solcellsproduktionen är låg samt att inget köp behövs under lunchrasten. Under denna timme laddas i stället batteriet med motsvarande produktion (224 kWh). Under perioden kl 19-07 nästkommande dag erfordras ett tillskott om 467 kWh för att fylla upp batteriet. Detta skulle innebära krav på en minsta laddningshastighet om ca 40 kW.

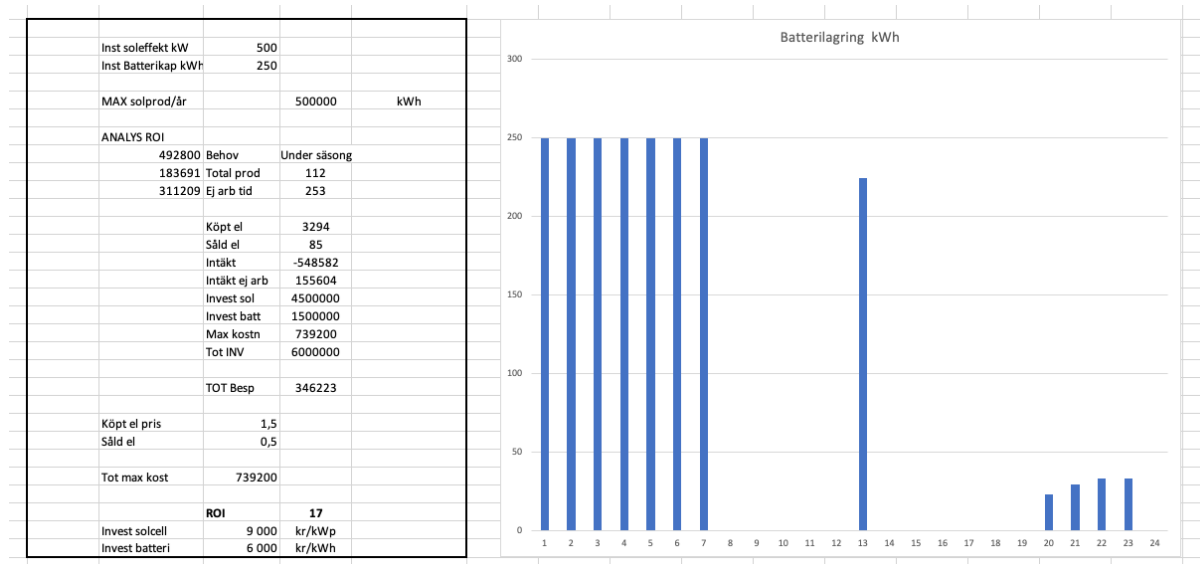
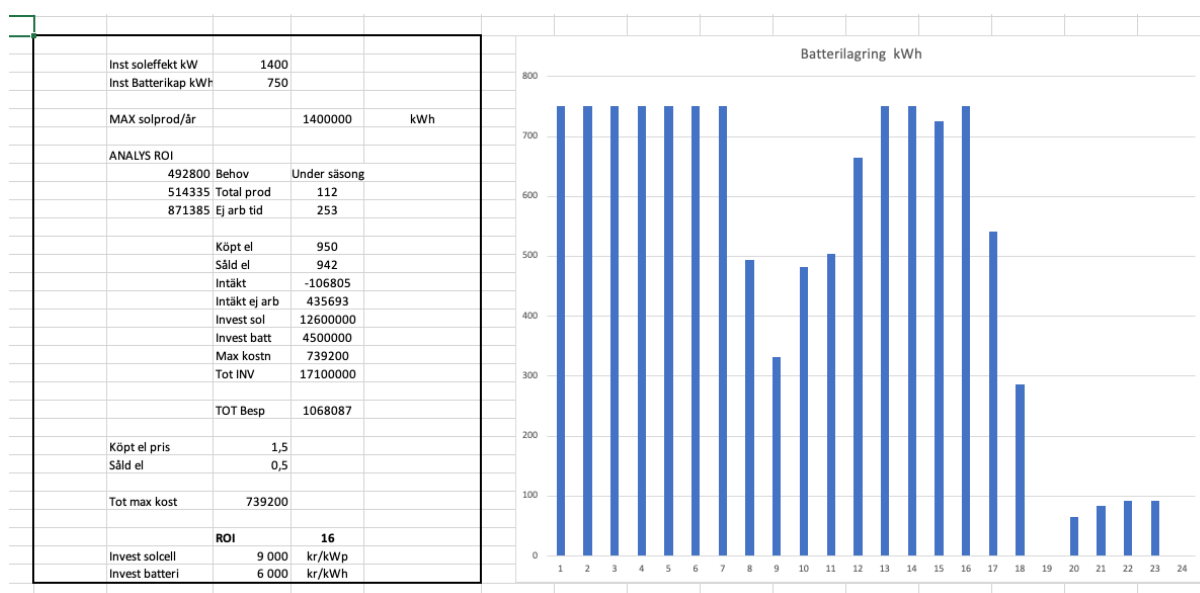
I praktiken torde laddning kunna ske med det tiodubbla (400 kW) dvs närmare 0,8C enligt batterinomenklaturen. I ett verkligt fall skulle man alltså kunna avvakta att ladda batteriet till dess elpriset är som lägst. Laddningstiden torde kunna bli så kort som 1 tim 15 min. (1C).

Med volatila elpriser finns också möjligheter att också under dagtid bedöma vad som skulle vara det mest optimala. Att köpa billig el medan soelen lagras i de fall baterikapacitet finns? Dessa alternativ lämnas till eventuella fördjupade studier.

## Några jämförande analyser

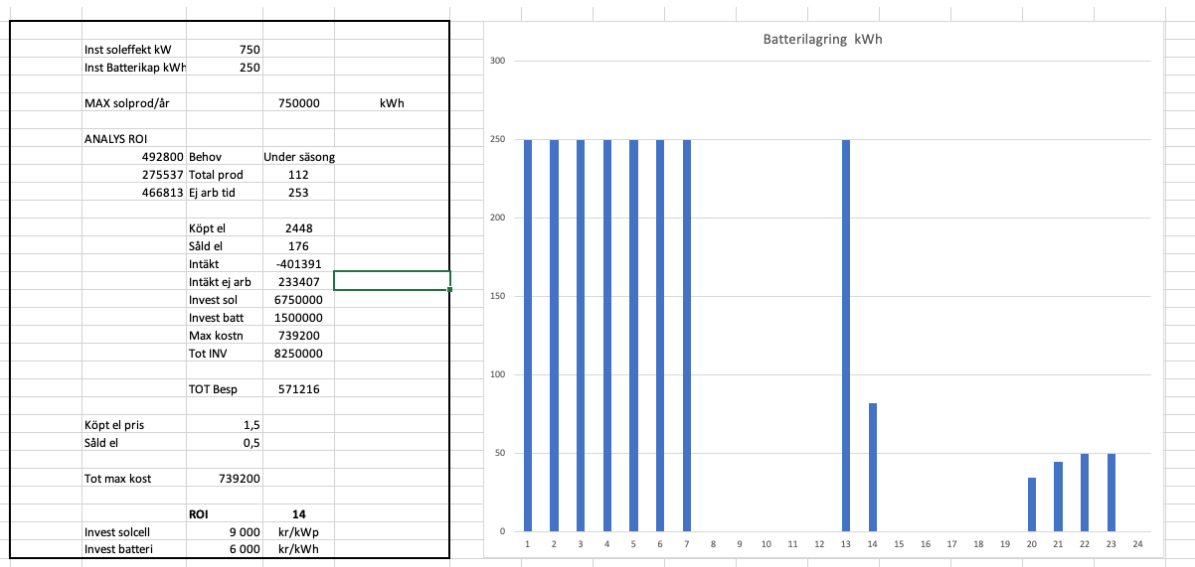
I nedanstående beräkningar har investeringskostnaderna för solceller antagits 9000 kr/kW samt batterikostnader till 6000 kr/kWh. Priset för köpt el har satts till 1,5 kr/kWh och den sålda elen till 0,5 kr/kWh. ROI har beräknats för olika kombinationer av sol-anläggning och batterilager.

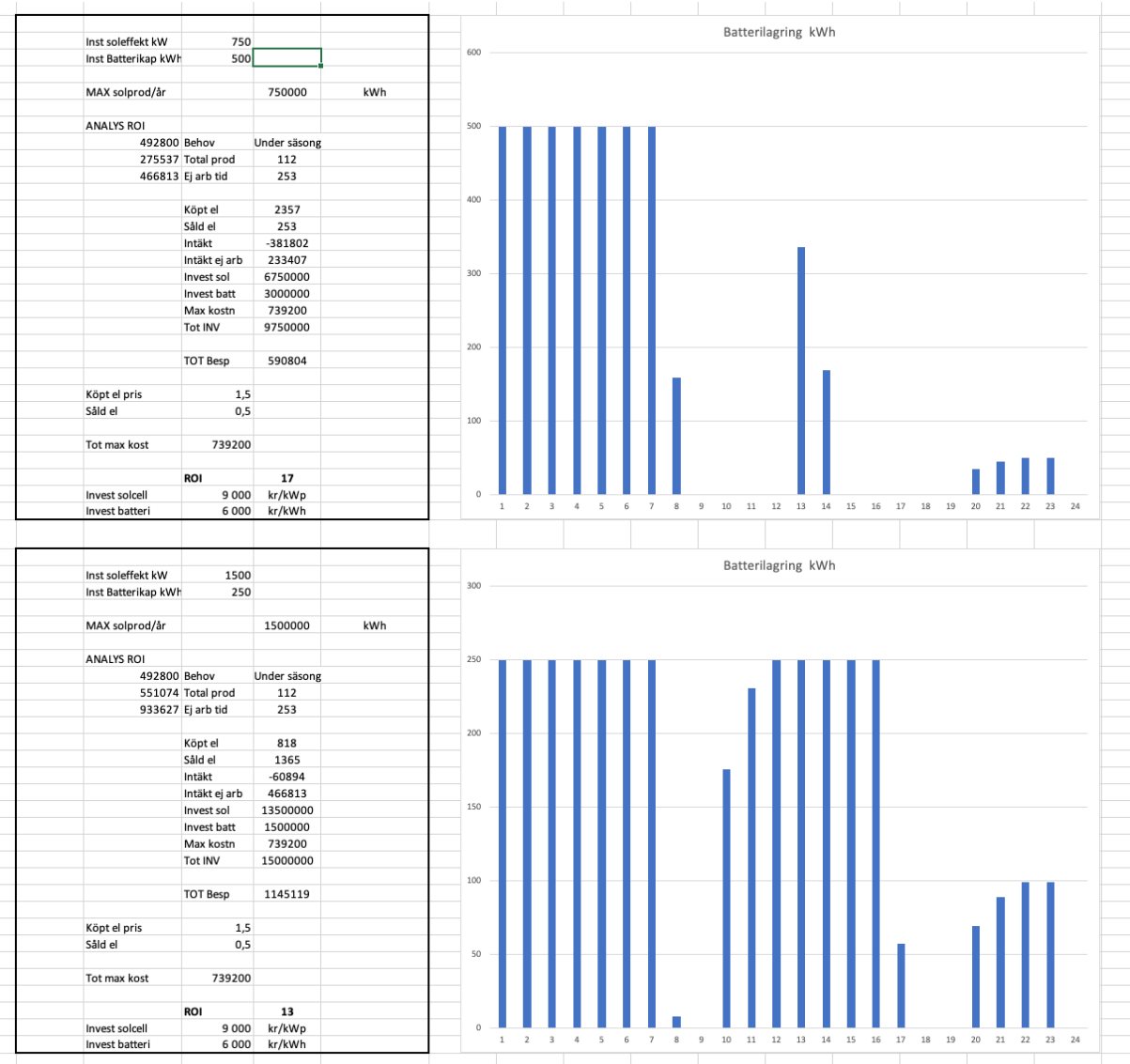
Beräkningarna visas i Exceltabellen samt figuren till höger anger batterilagringskapaciteten över dygnet (24 tim)



# SBMI projekt 1410

2023



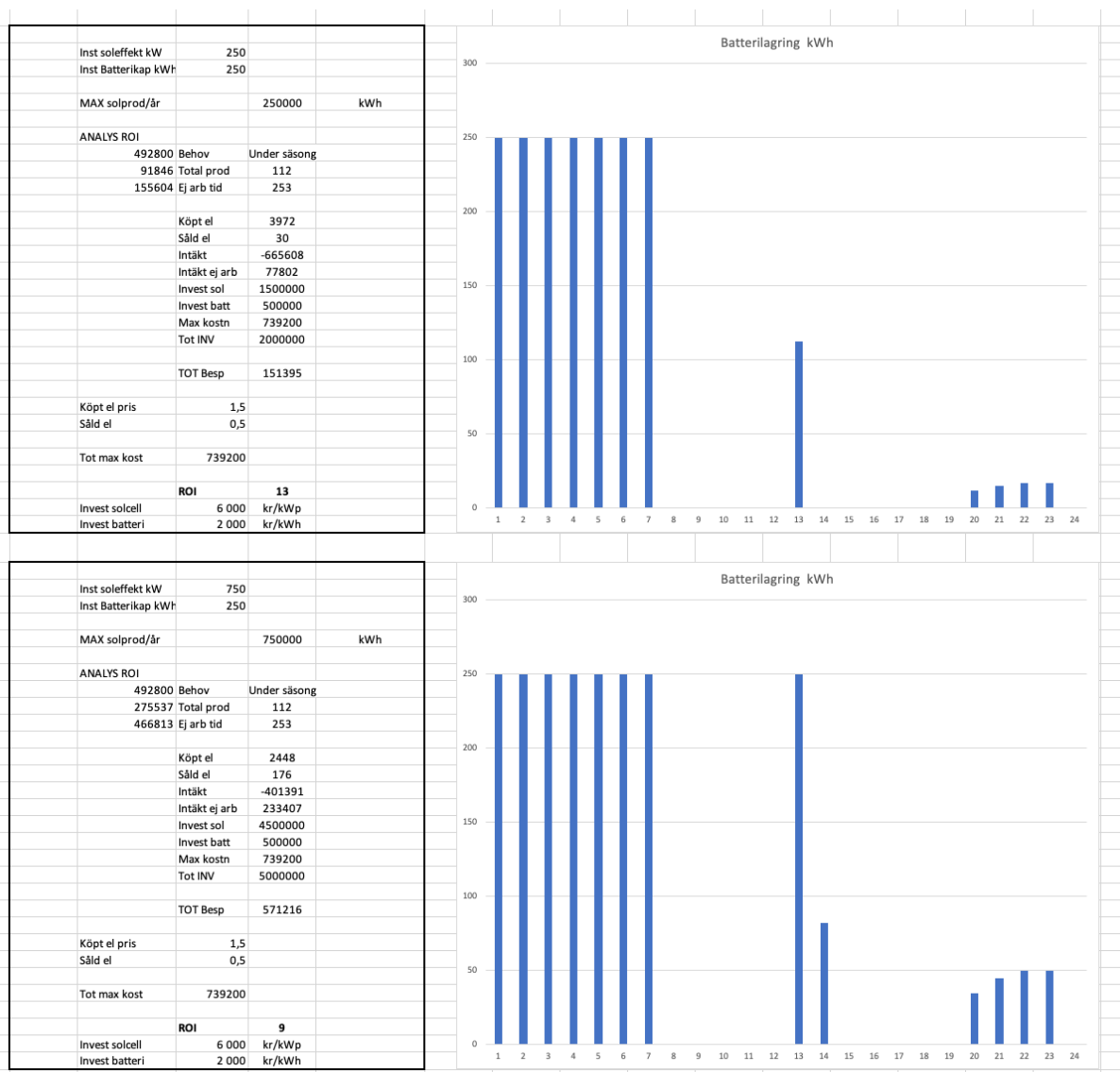


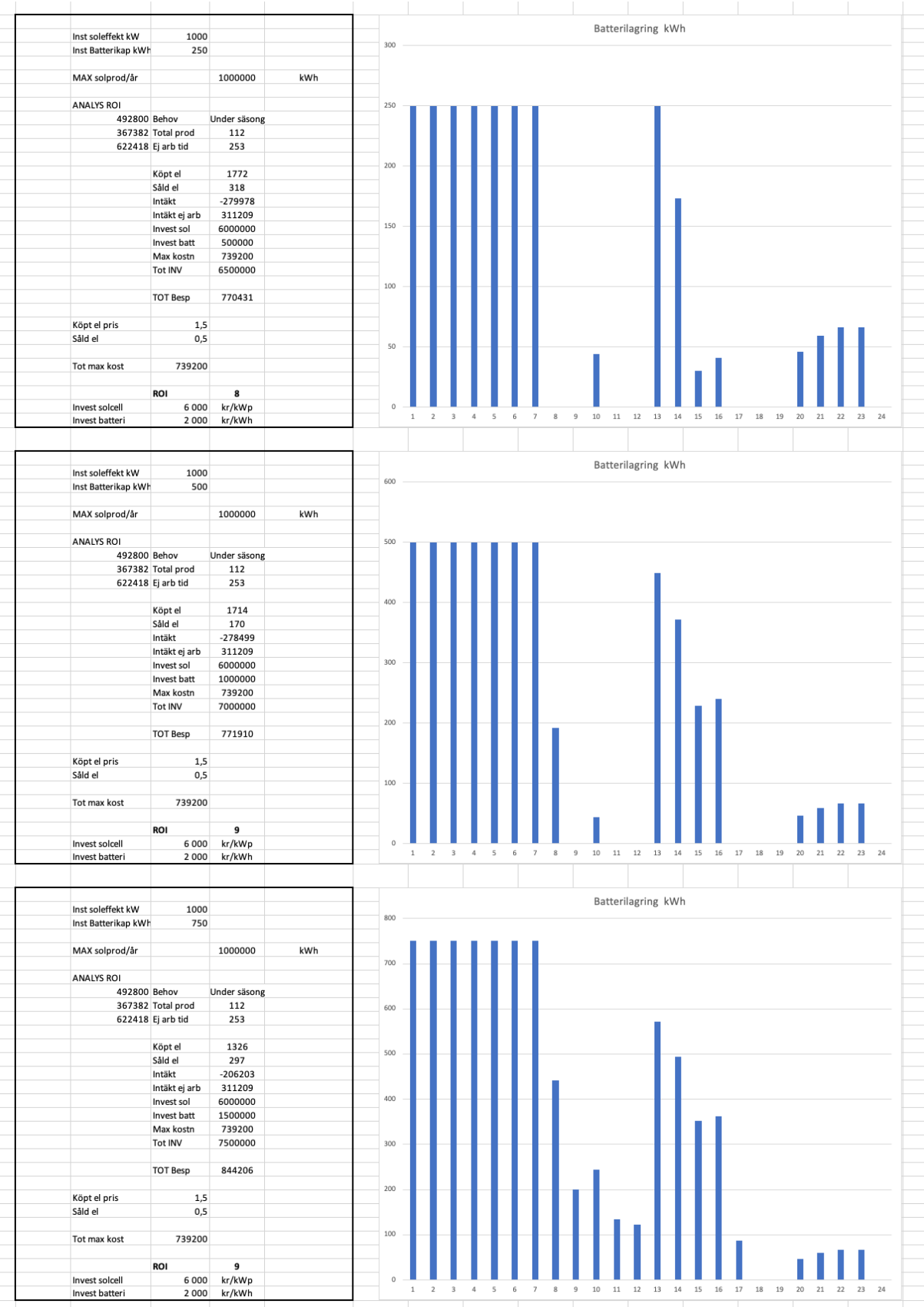


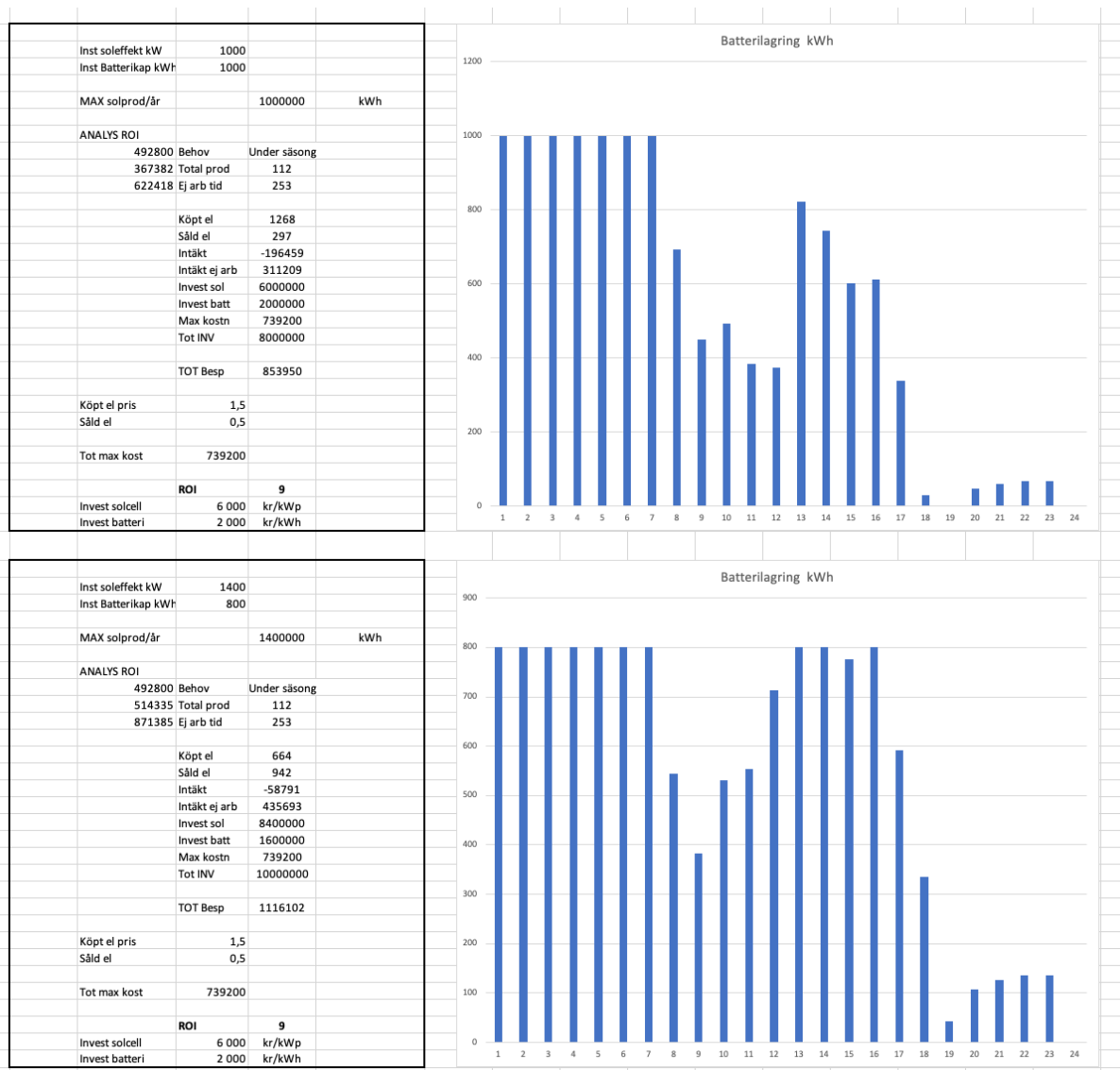
Sammantaget ser vi alltså att ROI varierar mellan **13 till 21** år vid dessa antaganden.

## Inverkan av lägre investeringskostnader

Skulle vi göra om beräkningen för en lägre investeringskostnad, Solel för 6000 kr/kW samt batterier för 2000 kr/kWh får vi värden enligt nedan:







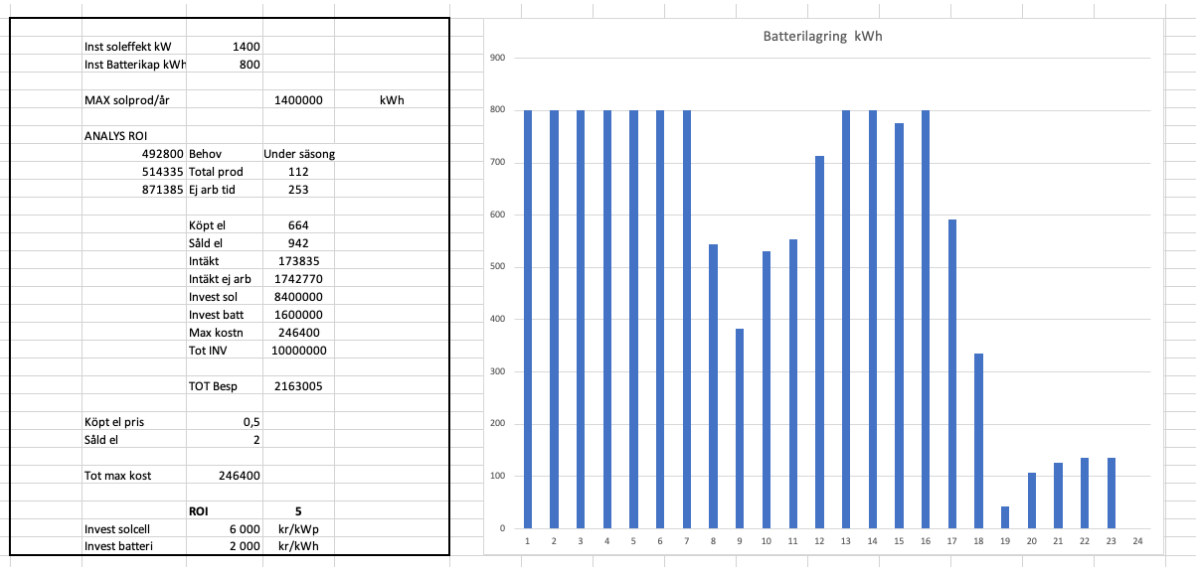
Dvs ROI minskar då till mellan 9 och 13 år.

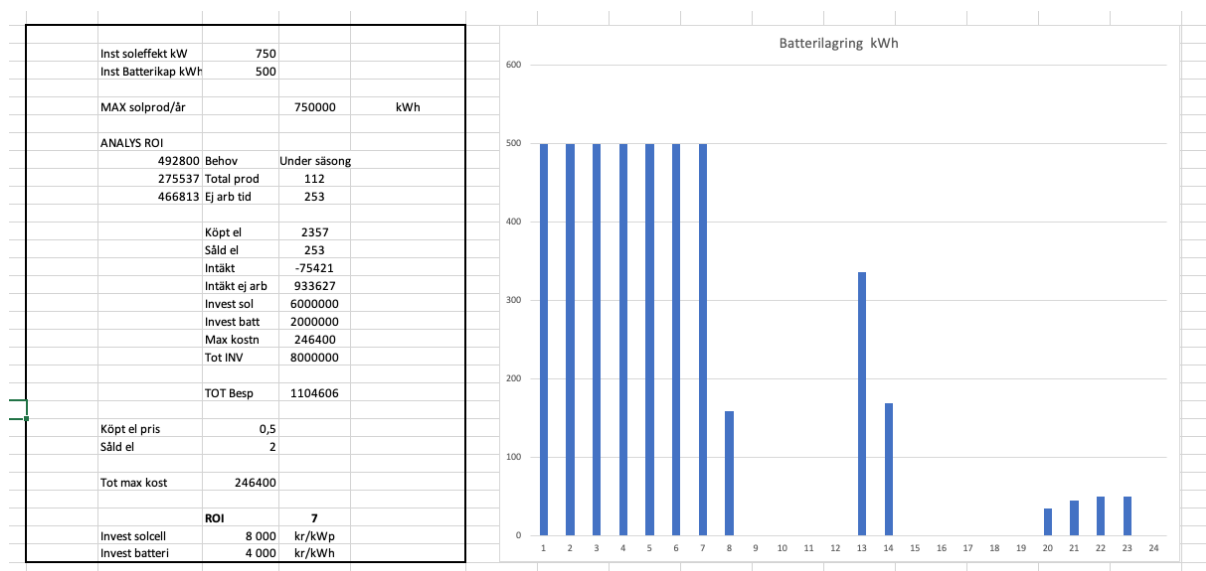
Om vi i stället tittar på inverkan av prisvariation av köpt/såld el blir situationen helt annorlunda. Nedan har beräkningarna gjorts under antagande att den köpta elen kostar 0,5 kr/kWh, medan man får 2 kr/kWh för den sålda!



# SBMI projekt 1410

2023





I dessa fall sänks ROI till mellan **5 och 7 år**.

Summerar vi ovanstående fall kan vi konstatera att återbetalningstiden (ROI) kan variera mellan 5 och 20 år. Allt beroende på vilka grundantaganden som görs. Vi kunde se att solcellerna ger en positiv effekt medan batterier i regel förlänger eller planar ut kostnadskurvan. Den viktigast parametern är där batterikostnaden. Vi kunde även se att priset på den köpta respektive sålda elen kan vara lika avgörande.

En tanke kan då vara att köpa el när det är billigt och sälja när det är dyrt. Detta måste dock kopplas samman med det primära krossarbetet, som har antagits följa samma produktions-schema oavsett prisbilder eller solinstrålning.

Frågan som då uppstår är; *Kan man skapa en kross-verksamhet som försöker optimera vinst, alternativt minimera energikostnader, med att utnyttja en variabel produktionstakts-modell och användande av bra prognosmetoder?*

Denna fråga kan möjligen komma att analyseras i en eventuell framtida specialstudie.

## Förenklade energibetraktelser

Om vi utgår från producerade dygnsmedelvärden och antar en jämn energiproduktion samtliga månader kan vi få ett översiktligt mått på hur en solcellsanläggning skulle kunna fungera i en bergtäkt.

Behovet per arbetsdag är 4 400 kWh. Dvs på årsbasis svarar detta mot en elförbrukning om 492 800 kWh per driftår (112 dagar). Antar vi ett elpris på 2 kr/kWh, vilket är högt räknat i dagens läge, erhålls alltså en energikostnad uppskattningsvis **runt 985 600 kr per år**.

Hur stor måste en solcellsanläggning vara rent energimässigt om vi utgår från ett dygnsbehov på 4 400 kWh under 10 tim (112 dagar/år) och produktion enligt en normaliserad solkurva?

Svaret är att anläggningen i så fall måste uppgå till minst 1 400 kWp. Solproduktion uppgår då teoretiskt till 4 592 kWh/dygn. Under arbetstid behöver man sälja av 1125 kWh när krossen inte används fullt samt köpa in 965 kWh då solinstrålning inte räcker till. Anta att köp/säljpris är detsamma. I så fall blir det ett nettotillskott från 160 kWh såld el per dygn.

På årsbasis svarar det mot 17 920 kWh som kan säljas. Besparingen som görs är alltså "ej inköpt el samt såld el". Totalt 985 600 + 35 840 kr. Övriga dagar (ej arbetsdagar) totalt 253 dygn säljs all producerad el till nätet. Detta blir 1 161 776 kWh som betingar ett värde av 2,32 MSEK. Totala Besparingen per år är alltså 985 600+35 840+2 350 000 kr= 3,35 MSEK /år. Ställs detta mot en investeringskostnad om 14 MSEK blir ROI utan subventioner **4,2 år!**

Om vi nu väljer att lägga till ett batteri, säg på 500 kWh kapacitet. Hur ser situationen ut då?

I så fall kan man sälja 942 kWh per dygn men måste samtidigt köpa 700 kWh då produktion och konsumtionsmönster skiljer sig åt. Nettot blir en försäljning om 242 kWh per dag och totalt på årsbasis svarar detta mot 27 104 kWh. En förnyad analys av det ekonomiska utfallet ger nu: Investeringskostnad i solceller 9,8 MSEK. Batterikostnad 2 500 000 kr. Totalt: 12 300 000 kr.

Besparing:  $985\,600 + 54\,208 + 3\,323\,558 = 3\,360\,000$  kr/år. ROI blir nu **3,7 år**.

(Skulle batteriet kunna användas för ex.vis frekvensstöds-tjänster med intäkt om 200 000 kr/år minskar ROI till 3,5 år.)

Om vi behåller batteriet (500 kWh) men sänker solcells-installationen, säg till 700 kWp. Vad sker då?

I detta analyserade fall produceras 2 296 kWh/dag. Den sålda energin uppgår till 269 kWh och den köpta blir 2 468 kWh per dygn. Netto alltså 2 468 kWh. På årsbasis svarar detta mot en elkostnad av 493 600 kr. Besparingen är i detta fall 1 653 776 kr. Läger vi till försäljning i juli blir besparingen totalt 1 796 128 kr. Total investering i detta fall är : Solceller 4,9 MSEK Batterier 2 500 000 kr totalt 7,4 MSEK. ROI blir nu **4,1 år**. Dvs ROI försämras något med en sänkt storlek på solcellsanläggningen. Men investeringsbehovet sjunker med närmare 5 miljoner kr.

Frågan som kan ställas är hur ROI kommer att ändras för en ytterligare neddragning av kapacitet för solceller/batterier?

Vi gör ett försök med att sänka Batterikapaciteten ytterligare, till säg 250 kWh.

Produktionen blir densamma 2 296 kWh/dag. Söld energi blir 147 kWh

och köpt dygnsenergi 2 565 kWh. Besparing blir nu  $985\,600 - 541\,632 = 1\,276\,400$  kr. Investering i sol 4,9 MSEK. Batteriinvestering: 1 250 000 kr Totalt såldes 6,15 MSEK. ROI blir nu 4,8 år!. Dvs ROI försämras något, vilket tyder på att batteriet inte ger så mycket ekonomisk nytta.

Om vi sänker batterikapacitet till 0 kWh får vi nästan samma scenario som vi startade med. I föregående fallet hade vi maxat solceller till 1 400 kWp.

Vad är då situationen med solceller 700 kWp och utan batteri?

Produktionen blir som nyss 2296 kWh per dag. Söld el blir 444 kWh och köpt uppgår nu till 2104 kWh. Netto blir detta ett dygnsköp om 1660 kWh. På årsbasis 664 000 kr. Årsbesparing blir nu  $1\,760\,000 - 664\,000 = 1\,096\,000$  kr. ROI blir nu  $4\,900\,000 / 1\,096\,000 = 4,5$  år!

Vad sker med lönsamheten om vi sänker solcellsanläggningen till hälften, 350 kWp?

Produktionen minskar till 1148 kWh per dag. Söld energi blir 222 kWh och köpt 3252 kWh.

På årsbasis således ett netto om 3030 kWh. Produktionen i juli uppgår till 1148 kWh

Investeringskostnad sol: 2 450 000 kr. Besparing blir:  $1\,760\,000 - 1\,212\,000$  kr=548 000.

ROI = **4,5 år**

Om solcellsanläggningen har peak 350 kWp och batteriet 350 kWh. Hur ser situationen ut då?

Produktionen blir då 1148 kWh per dygn. Söld energi 42 kWh och köpt 3 804 kWh.

Investeringskostnad 4,2 MSEK besparing 1,43 MSEk/år. ROI **2,9 år**.

Om batterikapacitet ökas till 500 kWh. Vad händer då?

Produktionen densamma: 1148 kWh per dag. Köpt el 3500 kWh/dag.

Investeringskostnad Sol: 2,45 MSEK. Batteri: 2 500 000 kr: Total

investering: 4,95 MSEK. Besparing: 1 760 000 - 1 38 400 + 71 000 = 447 000 kr:

**ROI = 11 år.** Man kan observera att ökad batterikapacitet tydligen försämrar det ekonomiska resultatet.

*Ovanstående analyser har gjorts med antagande av solceller till en kostnad av 7 000 kr/kWp samt Batterier till en kostnad om 5000 kr/kWh. (Detta är förväntade värden och inte värden som gäller idag 2023 skall nämnas. Dagspris på batterier (TesVolt anger 2022 ca 6100 kr/kWh) Elpriset har antagits till 2 kr/kWh både för såld el och 2 kr/kWh för köpt el för att göra beräkningen enklare.*

### Hur realistiska är dessa antaganden?

Enligt expertanalyser (ref OMEV) så kostar Li-ion batterier på cellnivå nu runt 150 USD/kWh. På packnivå är kostnaden runt 250 \$/kWh. Priset på batterier torde dock i dagsläget snarare röra sig om ca 1 000-700 \$/kWh!

Ur detta kan man sluta sig till att batterikostnader fortsättningsvis kommer att bli billigare i takt med förbättringar av produktionstekniken och ökade volymer. Realistiska kostnadsnivåer de kommande 5-10 åren torde därför kunna ligga runt 400 \$-600 \$/kWh.

### Kommentarer:

Om batteriet enbart ses som en kostnad vad gäller ROI ur energiperspektiv kanske det dock ändå har vissa ekonomiska fördelar.:

- Som reservkraft kan det tjäna ett stort syfte att driva anläggningen

under begränsad tid (§10 min) vid ev nätbortfall. Detta kan vara väsentligt.

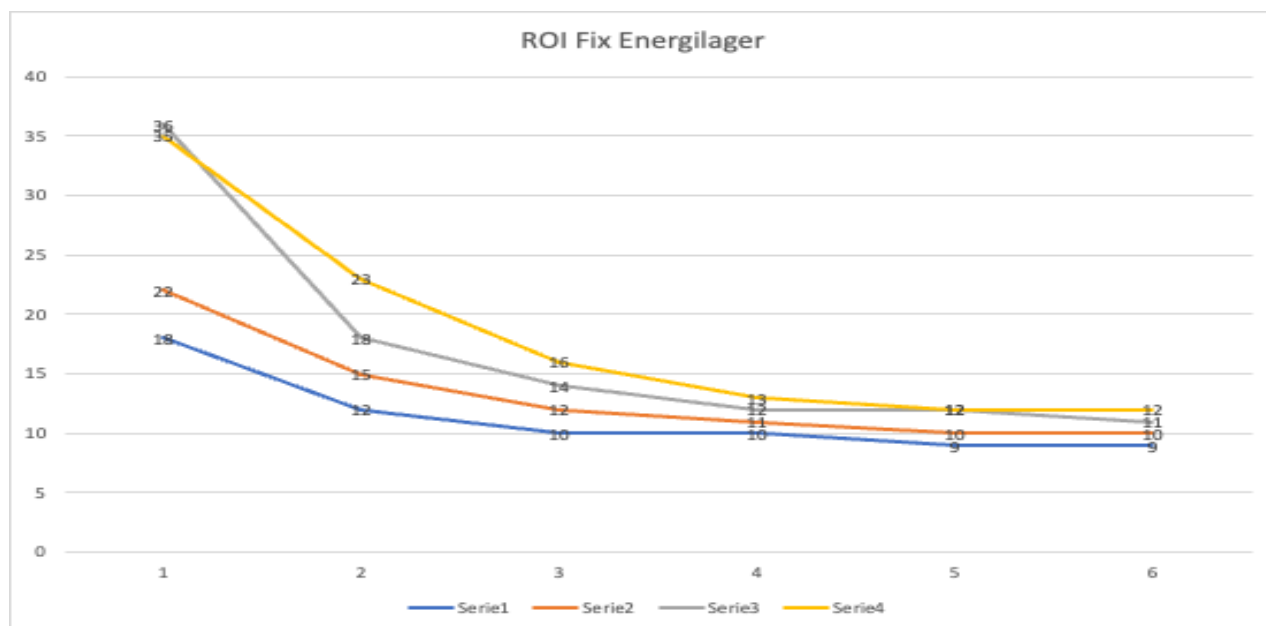
- Det kan vara fördelaktigt att tömma transportband vid spänningsbortfall.
- Batteriets funktion som FRN kan ge ROI förbättringar på upp mot ett år
- Batteriet kan minska startströmmar och "troligen" minska effektpendlingar. Detta kan vara av stor betydelse i svaga elnät.
- Batteriet kan också användas för att köpa och sälja el i en fluktuerande elmarknad.
- Elproduktion i borte änden av elnät kan vara av stor betydelse för elbolagen, framför allt i svaga elnät. Likaså kan detta vara avgörande för att få anslutningstillstånd!
- Analyserna visar på att extra solcellsproduktion är att föredra framför att sätta in alltför stora batterier.
- Solcellskostnader kommer att sjunka och priset varierar kraftigt med storlek på anläggning.
- Solcellsanläggningar kan även göras mobila och avyttras innan dess tekniska livslängd (20-30 år) är uppnådd. Detta har inte medtagits i analysen.

En grafisk sammanställning ges nedan.

I graferna nedan har ROI analyserats med antagande om fast Energilager och variation av installerad solcellseffekten. I denna analys har dock förutsättningarna ändrats något från tidigare beräkningar.

Här antas kostnaderna för solens respektive batteri-investeringar ligga mer i paritet med dagens priser. Dvs 10 000 kr/kWp respektive 8 000 kr/ kWh för batterier. Priset för såld el satts till 1 kr, medan köpt el till 2 kr/kWh.

Konsekvensen är att ROI kommer att öka.



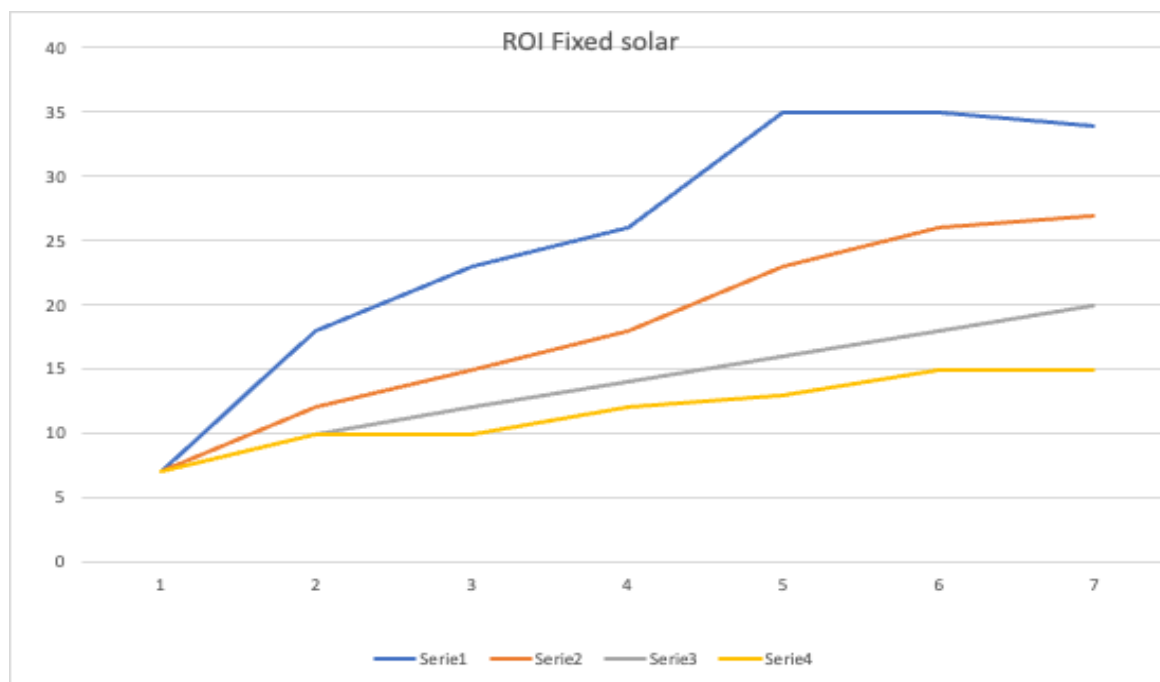
Punkt 1: 250 kW, punkt 2: 500 kW, Punkt 3 750 kW, punkt 4: 1000 kW punkt 5 1250 kW punkt 6 1500 kW

Serie 1: 250 kWh, Serie 2: 500 kWh, Serie 3: 750 kWh, Serie 4: 1000 kWh, Serie 5: 1250 kWh, Serie 6: 1500 kWh

Som kan utläsas är ROI mycket hög vid låga installationseffekter. Vid punkt 4 (1 000 kWp) sammanstrålar dessa mot 10-13 år . Därefter relativt konstanta ROI värden. Om man accepterar 12 år ROI kan tre batterier vara tillämpliga 500, 750 samt 1000 kWh.

Slutsatsen av denna studie hittills blir att solcellsinstallationen bör maximeras för varje given batteristorlek, upp till den nivå som kapitaltillgången medger.





Serie 1: 250 kWp, Serie 2: 500 kWp, Serie 3: 750 kWp, Serie 4: 1000 kWp  
 Punkt 1 0 kWh punkt 2 250 kWh, punkt 3 500 kWh, punkt 4. 750 kWh, punkt 5: 1000 kWh, punkt 6: 1250 kWh, punkt 7: 1500 kWh.

Ur denna graf framgår att ju större solcellsins-installation som finns desto lägre blir påverkan på ROI. I samtliga fall ökar dock ROI med ökad batterikapacitet.

**Slutsatsen är att en ökad batterikapacitet inte ger ekonomisk förbättrad ekonomi. Ekonomin ges nästan uteslutande av den befintliga solcellsinstallationen.**

Detta är samma slutsats som ovan fast ur det andra perspektivet. Vilken roll batterilagringen kan ge diskuteras mer under sammanfattningen.

Det kan nämnas att solcellsproduktionen är uteslutande en möjlig källa under dygnets ljusa timmar. Vad som skulle kunna bli fallet med en komplettering av solceller med andra miljömässigt acceptabla energikällor, tex vind, diskuteras närmare nedan.

# Alternativ/komplement till solceller

Fossilfri energiproduktion kan ske med hjälp av solceller och vindkraft. Dessa behandlas översiktligt.

Förutom solceller skulle möjligen småskalig vind kunna vara ett alternativ eller komplement. Framför allt borde vertikalaxlade kraftverk på måttliga effektnivåer. Tex 10-20 kW kunna spela en viss roll.. Dessa har i regel lägre investeringskostnader. Är flyttbara samt ger bra energi-produktion även vid relativt låga vindhastigheter. I regel kräver dessa inte miljötillstånd?

## **Vad kostar små vindkraftverk och hur mycket kan de producera?**

Nedanstående Vertikalaxlade kraftverk är på ca 10kW toppeffekt. Stratar vid låga vindhastigheter (2-3 m/s) och kostar ca 8 000 - 10 000 kr/kW. I större volymer torde priserna kunna bli lägre. Kraftverken är lättplacerade och är lätta att flytta.

## **Hur mycket blåser det i Sverige?**

Mycket platsberoende. I kustnära lägen eller på öppna ytor tenderar medelvinden att vara över medelvinden.



Små vertikalaxlade vindkraftverk kan placeras flexibelt

## Vätgas som ett mellanlagrings alternativ eller komplement till batterier.

Om energilagring skulle ske i ett mellansteg, som vätgas i stället för eller kompletterat med batteri. Hur ser ett sådant system ut?

Vi utgår från att vi driver en krossanläggning med enbart Solceller. En sådan anläggning skulle det enligt analysen kräva en installation om 1,4 MWp. Total investering uppgår alltså runt 14 MSEK. Om vi kan utnyttja all solinstrålning och producera el för att använda bara till krossen. Hur mycket måste vi investera då?

Vi kan räkna baklänges. Behovet 500 000 kWh kräver 850 000 kWh energi om vi antar en bränslecell med 60% verkningsgrad. Bränslecellen behöver när krossen drivs 232 kg vätgas per dag. Om produktionen sker jämt (300 dagar per år) är produktionskravet enbart 86 kg vätgas per dag.

För att producera 850 000 kWh så krävs minst 850 kWp solceller, vilket är bara 60% av som annars skulle krävs.

Solcellsinstallationen torde då uppgå till 8,5 MSEk. Bränsleceller antas kosta 200\$/kW för volymer mer än 10 000/år. Elektrolys-anläggningar kostar enligt vissa ca 50 kr per kg vätgas. Tillkommer komprimeringsutrustning och tryckkärl.

Sammantaget blir detta en investering på minst 10,8 MSEK. I detta fall erhålls en besparing på 1 MSEK/år om elpriset sätts till 2kr/kWh. ROI blir motsvarande 10,8 år. (Jämfört med över 14 år utan mellanlagring)

När det gäller vätgasen tillkommer transportkostnader. Vad som skulle kunna ge ytterligare intäkter är om elektrolyser/bränslecell placeras så att spillvärmen kan tillvaratas ger detta ytterligare intäktsförstärkningar med upp till 300 000 kr/år. ROI sjunker då till 8,3 år.

För att hantera effektvariationer krävs dock superkondensatorer/batterier med effektkapacitet upp mot 150 kW. Energiinnehåll dock endast några 10-tal kWh. Priset för sådana just nu okänt.

Det finns flera fördelar med vätgas som mellanled.

- För det första kan produktion och användning av el ske vid olika tidpunkter.
- För det andra kan produktion som inte används momentant lagras i vätgastankar. Gasen kan komprimeras till 350 eller 700 bar och transporteras långa sträckor. Vätgasen kan även lagras i metallhydrid (se nedan)
- Värmen som uppstår vid elektrolys och konvertering till el kan användas till uppvärmning, om placering kan ske optimalt.
- Andra energislag än sol kan användas för produktion. Tex småskalig vind. Vattenkraft och köp av el från nätet, när den råkar vara extra billig!
- Vätgasen kan användas även till (gula) maskiner och fordon som drivs av bränsleceller. (detta innebär en systemfördel med vätgas)



### **Containerized solid-state hydrogen storages up to 225 kg<sub>H2</sub> per 20ft-ISO container**

Det tyska företaget GRZ erbjuder lagring (ej trycksatt) i Nickelmetallhydrid. I detta fall behövs ingen dyr komprimering. GRZ påstår om sitt DASH system;

*“If larger quantities of stored hydrogen are required, the best solution is often a containerized one. GRZ offers containerized hydrogen storage solutions between 45 and 225 kg<sub>H2</sub> storage capacity and including all necessary auxiliary systems. Based on the provided interfaces, the required utilities (if any) can be easily integrated into the overall system”*

Detta lager av vätgas svarar mot 225\*33 kWh energi, dvs 7,4 MWh, vilket motsvarar närmare 4,4 MWh el från bränslecell (dvs motsvarar en dagsförbrukning)

## **Sammanfattning**

### **Vilka är de uppenbara slutsatserna?**

På den ursprungliga frågan vilken batterikapacitet som skulle vara mest lönsam givet en given solcellsinstallation blev svaret att **batterikapaciteten inte förbättrar lönsamheten direkt**. Det kan dock finnas andra skäl, nämligen om batteriets funktion innebär tillstånd till anslutning. I så fall kommer

batterikapaciteten att bedömas ur ett annat perspektiv, nämligen hur stor reduktion av strömtopparna som erhålls för ett givet batteri.

Om hänsyn tas till de olika driftmodern kan man dra slutsatserna:

- Batterier kan ge **tillgång till elnät** genom s.k. **Peak-shaving**.
- Anslutning till elnätet är en starkt kostnadssänkande åtgärd jämfört med dieseldrift. (Energikostnad för dieseldrift ca 14 kr/ton. Energikostnad för eldrift ca 2-5 kr/ton.)
- **Solcellsinstallationer är redan idag lönsamma investeringar och där ger batterier mervärden.** Tyvärr är batterikostnaderna ännu något för höga men snabb utveckling talar för kostnadspress under kommande decennium.
- Batterier kan i vissa fall reducera flimmer (2-5 Hz). Detta kan innebära att **abonnemangseffekterna kan sänkas**, vilket förstås även gäller för peak-shavingen. (Abonnemangsskillnader mellan 60 000 – 120 000 skulle eventuellt kunna vara möjliga)
- Vad gäller svaga elnät är troligen **batterier en framkomlig väg till anslutning**. I dessa situationer torde **solcellsinstallationer också kunna bidra till en bättre lönsamhet**. Här kan finnas ytterligare intäktströmmar från nättjänster till Svenska Kraftnät (Frekvensreglering).
- Om ett batteri kan innebära elanslutning i ett svagt elnät, torde lönsamheten snabbt kunna bli en intressant faktor. T ex. för en krossning av 200 000 ton/år skulle energikostnaden uppgå till knappt 1 miljon kr/år detta medräknat kostnad för batteri med avskrivningstid på säg 5 år!
- För en mindre investeringskostnad kan **småskalig vind (vertikalaxlade vindkraftverk) förbättra energinotan**. Detta genom att komplettera solenergin med elproduktion även under perioder när det är mulet,

nätter etc.

- En hybridlösning med användning av **mellanlagring i vätgas** torde dock kunna bli ett mycket intressant alternativ i framtiden. Redan nu tyder analyserna på ROI runt 8 år utan subventioner! Frågan bör utredas mer.