SOLCELLSANLÄGGNINGAR

– OPTIMERING OCH LÖNSAMHET

Högskoleingenjörsutbildning i energiteknik
Elkraft

Henrik Landenstad
Martin Rokka

HÖGSKOLAN I BORÅS

Program: Energiingenjör inriktning Elkraft, TGENI17h
Svensk titel: Solcellsanläggningar – Optimering och lönsamhet
Engelsk titel: Photovoltaic systems – Optimization and profitability
Utgivningsår: 2020
Författare: Henrik Landenstad, Martin Rokka
Handledare: Johan Gustavsson
Examinator: Leif Näslund
Nyckelord: Solceller, solcellsanläggningar, kostnadskalkyl, LCOE, PV, PV-simulering, elkvalitet

Sammanfattning

Rapporten har utförts i samarbete med Vinnergi som är ett konsultbolag inom både el-, fiber- och mobilnät. Syftet är att undersöka hur elnätet påverkas av det ökade antalet solcellsanläggningar samt försöka svara på vad som grundar elnätsägarnas godkännande av dessa anläggningar. Rapporten kommer också att undersöka vad som driver en investering av solceller och hur leverantören på bästa sätt dimensionerar solcellsanläggningen för specifika byggnader.

Information gällande påverkan på elnätet har samlats in dels från tryckta källor och dels genom intervjuer av personer som idag arbetar med dessa frågor på elnätsbolag.

För dimensioneringen av solcellsanläggningar har data samlats in byggnadernas verkliga elförbrukning och sedan har denna sammanställts till ett timmedelvärde som använts i simuleringsprogrammet PVSyst. Kalkyler gällande kostnaden har gjorts utifrån simuleringsprogrammets utdata som har matats in i en LCOE-kalkyl.

Arbetet har lett till en sammanställning av vad som verkar vara de största problemen gällande elkvaliteten. Det har även lett till färdiga dimensioneringar och kalkyler av anläggningar i olika verksamheter. Resultatet visar även på om det finns fördelar i att använda öst-/västorientering på panelerna istället för sydorientering.

Abstract

The report has been carried out in collaboration with Vinnergi, a consulting company in both electricity, fiber and mobile networks. The purpose is to investigate how the electricity grid is affected by the increased number of photovoltaic systems and try to answer what is the basis of the grid owners' approval of these systems. The report will also investigate what drives an investment of solar cells and how the supplier best dimensions the plant for specific systems.

Information regarding the impact on the electricity grid has been collected partly from printed sources and partly through interviews of people who are currently working on these issues at electricity grid companies.

For the design of photovoltaic systems, data has been collected on the buildings' actual electricity consumption and then compiled to an hourly value used in the PVSyst simulation program. Costs calculations have been made on the basis of the simulation program's output, which has been entered into an LCOE calculation.

The paper has resulted in a compilation of what appears to be the biggest problems regarding electricity quality. This has also led to the finished dimensions and calculations of systems in different operations. The result also shows if there are advantages in using east / west orientation on the panels instead of south orientation.

Förord

Examensarbetet skrivs som ett obligatoriskt moment i programmet Energiingenjör på Högskolan i Borås och avslutar därmed den 3 år långa utbildningen. Rapporten motsvarar 15 av totalt 180 högskolepoäng. Arbetet har gjorts i samarbete med Vinnergi i Borås under våren 2020.

Ett stort tack till alla personer som har hjälpt till med arbetet. Johan Gustavsson på Vinnergi som har varit vår handledare och som har varit hjälpsam med att förmedla både information, kontorsplats, goda råd och kontakter. Tack till vår examinator Leif Näslund som har kommit med feedback och hjälpt till med de programvaror och bistått med information som krävts. Tack till alla er som har delat med sig av sin kunskap både i intervjuer och av mätdata. Allt detta har kommit väl till användning under detta arbete.

Maj 2020
Henrik Landenstad *Martin Rokka*

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING 1

1.1 Bakgrund 1

1.2 Syfte 1

1.3 Avgränsningar 2

2 ELTEORI 2

2.1 Sveriges elnät 2
2.1.1 Stamnät 2
2.1.2 Regionnät 3
2.1.3 Lokalnät 3

2.2 Elkvalitet 3
2.2.1 Spänningsdippar 3
2.2.2 Flicker 4
2.2.3 Övertoner 4
2.2.4 Obalans 5

2.3 Solpaneler 5

3 SOLCELLER OCH DESS PÅVERKAN PÅ ELNÄTET 6

4 OPTIMERING AV SOLCELLSANLÄGGNING 8

5 MATERIAL OCH METOD 9
5.1.1 Intervjuer 9
5.1.2 Simulering med PVSyst 10
5.1.3 Beräkningar 10

6 RESULTAT 11
6.1.1 Idrottshall 11
6.1.2 Grundskola 14
6.1.3 Förskola 17
6.1.4 Flerbostadshus 20
6.1.5 Spänningsvariationer 24

7 DISKUSSION 25
7.1.1 Resultat 25
7.1.2 Metod 26

8 SLUTSATS 27

REFERENSER 28

Bil.1 LCOE-kalkyl idrottshall
Bil.2 Simuleringsdata idrottshall söderläge samt öst-/västläge
Bil.3 Simuleringsdata grundskola söderläge samt östläge
Bil.4 Simuleringsdata förskola söderläge samt östläge
Bil.5 Simuleringsdata flerbostadshus

1 INLEDNING

Elanvändningen i Sverige fortsätter att öka. Inom 25 år kan elanvändningen vara 60 % högre än dagens användning. En bidragande orsak till detta är ett ökande antal elbilar som kräver laddning (Svenskt Näringsliv u.å.). För att möta behovet ökas produktionen av framförallt förnybar energi i Sverige samtidigt som det sker en minskning av fossil bränsleanvändning. Förnybar energi produceras från sol-, vind- och vattenkraft (EON 2020).
Just solkraft produceras från solceller sammankopplade till solpaneler och den stora fördelen med solpaneler är att de kan installeras på i princip vilken fastighet som helst. Solcellerna producerar likström när solens strålar träffar dem. Genom en växelriktare omvandlas likströmmen till växelström och kan användas i fastighetens eluttag. Kombineras solpanelerna med någon form av kraftlagring exempelvis ett batteri kan elen sparas som en buffert till ett annat tillfälle då den kan behövas. Ett annat sätt att använda överskottsel är att sälja den till andra elkunder (Vattenfall u.å.a.).

1.1 Bakgrund

Att möta det ökade energibehovet från samhället kommer att kräva både upprustning av elnätet och en ökad elproduktion. I Sverige har inköpspriset på solcellsanläggningar kombinerat med att staten subventionerar viss del av installationen resulterat i många solcellsinstallationer. Det har gynnat både privatpersoner men även varit fördelaktigt för solcellsparker med hög produktion. Det kalla klimatet i Norden gör att solcellerna har en bättre effektivitet och en längre livslängd jämfört med installationer i de mer centrala delarna av Europa. Dessa fördelar kompenserar för det mindre antalet soltimmar i Norden (SEK 2019).
Solcellsanläggningar som är kopplade till det befintliga elnätet kommer att påverka elkvaliteten och ju fler anläggningar som tillkommer desto större påverkan i form av exempelvis spänningsdippar, transienter och övertoner (Energiforsk 2018). Kommer elnätsägarna klara att upprätthålla elkvaliteten på elnätet eller kommer de slutligen behöva hindra nyinstallationer av solcellsanläggningar?
Solpaneler kan installeras på alla byggnader men frågan som uppstår och motiverar många beslut är: ”Är det en lönsam investering?”. I den här rapporten kommer denna fråga att undersökas. Även beskrivning om hur en solcellsanläggning dimensioneras till den anläggning den ska installeras på.

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att undersöka hur elnätet påverkas av det ökade antalet solcellsanläggningar samt försöka svara på vad som grundar elnätsägarnas godkännande av dessa solcellsanläggningar. Rapporten kommer också att undersöka vad som driver en investering av solceller och hur solcellsanläggningen dimensioneras på bästa sätt för specifika byggnader.
Frågeställningar:

- På vilka grunder beviljar elnätsägaren installation av solcellsanläggningar och hur påverkar det elkvaliteten?
- I vilka verksamheter är det lönsamt att investera i solceller?
- På vilket sätt kan solcellsanläggningen dimensioneras för optimal produktion?

1.3 Avgränsningar

Rapporten kommer endast att behandla eventuell påverkan på det svenska elnätet.
Beräkningar som görs kommer att i den utsträckning det finns använda sanna mätvärden. Inga av solcellsanläggningarna existerar i verkligheten och för att göra jämförelser kommer endast ett simuleringsverktyg att användas.

2 ELTEORI

I detta kapitel kommer teorin som anses väsentlig för att förstå rapporten att behandlas. En introduktion till hur Sveriges Elnät är uppbyggt, vad som definierar elkvalitet samt vilka delar en solcellsanläggning består av.

2.1 Sveriges elnät

Elen som produceras i Sverige kommer till största del från kärnkraft och vattenkraft. I varje givet ögonblick som el produceras måste den också användas annars kan stora störningar och i värsta fall stora avbrott i strömförsörjningen ske. Det som också är viktigt är att upprätthålla nätfrekvensen 50 Hz eftersom den utrustning strömmen ska driva är konstruerad för 50 Hz (Energiföretagen 2018). Svenska Kraftnät (u.å.) som ansvarar för elöverföringen i Sverige bevakar nätfrekvensen kontinuerligt. Om frekvensen sjunker under 50 Hz betyder det att produktionen understiger elbehovet. Skulle frekvensen gå över 50 Hz gäller det motsatta, att behovet understiger produktionen. För att få frekvensen att gå tillbaka mot 50 Hz används antingen export av el om produktionen är för hög eller ökning av egna produktionen om den är för låg. Uniper (u.å.) menar att vattenkraft är den bästa sortens elproduktion för reglering. Vattenkraft har möjlighet att både öka och sänka elproduktionen om det skulle behövas.
Den producerade elen transporteras via kraftledningar och transformeras ner i många steg tills den slutligen når industrier och hushåll. Nedan kommer en beskrivning av de olika delarna av elnätet.

2.1.1 Stamnät

På stamnätet eller transmissionsnätet som det också benämns används spänningen 220 kV eller 400 kV (Svenska Kraftnät 2019). Transmissionsnätet har en totallängd på över 1500 mil. Anledningen till att stamnätet har så hög spänning är dels för att kunna använda en mindre kabelarea och dels att förlusterna blir lägre i kabeln ty förlusterna i kabeln beror på strömmen som går i den och kabelns längd enligt (Almgren et al. 1997). Ett effektivt sätt att överföra elen långa sträckor är att höja spänningen. Då kan strömmen vara lägre och ändå överföra mycket effekt med lägre kabelförluster.
Stamnätet kan ses som elnätets motorväg, där hög spänning ersätter hög hastighet. Då elen närmar sig samhällen och industrier tar den vägen genom regionnätet vilka kan liknas vid landsvägar (EON 2019).

2.1.2 Regionnät

På regionnätet transformeras spänningen ner till 40–130 kV. Regionnätet har inte lika långa kablar som stamnätet och regionnätets uppgift är att transportera el till distributionsnäten (EON 2019). Regionnäten ägs av olika stora elbolag bland annat Ellevio, EON och Vattenfall (Göteborg Energi u.å.).

2.1.3 Lokalnät

Lokalnätet är den sista sträckan före elen når slutkund. I en nätstation transformeras spänningen ned och skickas sedan vidare ut till olika kabelskåp. Från kabelskåpet går servisledningen till fastigheternas elmätarskåp. I elmätarskåpet mäts fastighetens elförbrukning. Spänningen är 400 V 3-fas och 230 V mellan fas och nolla (Vattenfall u.å.b.).

2.2 Elkvalitet

En god elkvalitet betyder att spänningen befinner sig mellan två bestämda gränsvärden och att spänningens sinusvåg efterliknar en ren sinusvåg. Dålig elkvalitet kan medföra exempelvis förluster i ledningar och flimmer i glödlampor. Detta kan i sin tur leda till skador på elektrisk utrustning (Cobben 2016).

2.2.1 Spänningsdippar

Definitionen av en spänningsdipp är att spänningsnivån under en kort tid understiger 1–90 % av den nominella spänningsnivån. En spänningsdipp måste vara längre än 20 ms vilket motsvarar en period vid 50 Hz för att sedan återvända till normal spänningsnivå. På ledningar med tre faser är det möjligt att spänningsdippar kan ske på varje fas och storleken på dessa kan variera mellan faserna (Cobben 2016).
Källan till en spänningsdipp kan vara:

- En påkoppling av en tung last som sänker spänningen under en kort stund ifall stationsmatningen inte är tillräcklig stor för lasten. Ett exempel av detta är en påkoppling av en bågugn.
- Vid uppstart av stora motorer med en induktiv karaktäristik tar dessa ut en hög ström som sänker spänningen.
- Enfasigt jordfel på ledning eller kabel.
- Kortslutning på ledning eller kabel.
- Symmetri- och linjefel (Surajit, Madhuchhanda & Samarjit 2011)

Den vanligaste förekomsten av spänningsdippar beror på kortslutningar, framförallt på mellan- och högspänningsnätet. Beroende på vilken spänningsnivå felet uppstår på kan påverkan för abonnenter variera. En kortslutning på högspänningsnätet resulterar i att underliggande spänningsnivåer för närområdet påverkas. Sker kortslutningen på lågspänningsnätet kommer den nominella spänningen på medelspänningsnätet inte sjunka under 90 % vilket är gränsen för en spänningsdipp (Cobben 2016).

2.2.2 Flicker

Flicker betyder flimmer och är ett fenomen som människan kan uppfatta som flimmer i glödlampor. Flicker är ett elkvalitetsproblem som inte orsakar skador på maskiner och komponenter. Flimret ger upphov till koncentrationssvårigheter hos människor och kan även upplevas obehagligt om det pågår under en längre tid. Flicker upplevs olika för olika individer detta beror på att flimmerintensiteten kan variera. Orsaken till flicker är framförallt när en tung last frekvent slår på och av i ett svagt lågspänningsnät. Den tunga lasten behöver mycket ström i påslagningen vilket resulterar i att systemspänningen hastigt sjunker under en väldigt kort stund. Det är den snabba spänningsförändringen som ger upphov till flimret i lamporna (Cobben 2016).

För att åtgärda problemet med flicker bör belysningen ses över och ett eventuellt byte av glödlampor kan vara nödvändigt. De äldre glödlamporna är framförallt mer känsliga för flimret medans nya lågenergilampor inte alls är lika känsliga för spänningsförändringar. Andra mer kostsamma åtgärder för att motverka flicker är att tillse att den tunga lasten drar mindre ström vid start. Exempelvis kan en motor förses med mjukstartare som gör att den tunga lasten inte behöver lika hög startström.
Ett annat sätt att möta problemet är att impedansen i systemet ses över. Lösningar kan vara att öka den nominella effekten från den matande transformatorn, att ledningsarean i kablar görs större, förlägga kablarna parallellt eller koppla den tunga lasten direkt mot transformatorn (Cobben 2016).

2.2.3 Övertoner

I det svenska elnätsystemet ska spänningen och strömmen efterlikna en ren sinussignal med en frekvens på 50 Hz. Men på grund av att laster kan belasta elnätet olinjärt resulterar det i att det uppkommer harmoniska övertoner i nätet. Dessa harmoniska övertoner är heltalsmultiplar av grundfrekvensen och kommer deformera spänningens och strömmens sinussignal. Övertonerna i nätet gör bland annat att elektriska komponenter kan ta skada i form av överhettning, då mer ström passerar i komponenten från övertonerna utöver den genomgående strömmen på grundfrekvensen. Även kablar riskerar överhettning, exempelvis på neutralledaren som kopplad till last inte ska ha någon genomgående ström. Den värme som utvecklas i ledaren beror på storleken på strömmarna och ledningens resistiva karaktäristik. I distributionsnätet resulterar dessa övertoner i rena värmeförluster till omgivningen (Cobben 2016).

De lösningar som finns för att motverka problemet är att använda sig av olika sorters filter. En annan lösning är att ta övertoner i beaktning när lasten designas för att motverka problemet innan det uppstår. Det går inte alltid att undkomma att lasten är olinjär och då används filter. Mot övertoner finns det tre olika sorters filter: seriefilter, shuntfilter och aktivt filter.
Med seriefilter kan impedansen för en vald överton ökas vilket gör att övertonens påverkan begränsas, men en nackdel blir att det kan höja övertonsspänningen för den valda frekvensen. Shuntfilter placeras parallellt med lasten och har en låg impedans. Likt seriefiltret bestäms impedans för en vald överton och genom detta förhindras att övertonsströmmen letar sig ut på elnät. Det kan hända att strömmar från andra laster går in i filtret vilket är problematiskt. Dessa två filter benämns som passiva filter eftersom de designas efter lasten och kan inte förändras utan att byta ut komponenter.

Det tredje filtret som används är det aktiva filtret. Detta filter justeras aktivt efter lastens och övertonsströmmarnas förändringar. Det aktiva filtret matar en motsatt övertonsström mot lasten vilket i sin tur motverkar övertonsströmmar till elnätet (Cobben 2016).

2.2.4 Obalans

Förekomsten av obalans i ström eller spänning kan finnas i enfas-, tvåfas- och trefassystem. I ett trefassystem är antingen fasspänningarnas amplitud olika eller så är vinklarna mellan faserna inte är 120 grader. Det resulterar i en spänningsobalans i systemet. Orsakerna bakom obalans kan vara att en enfasig last är kopplad mot ett trefasigt system eller att en säkring kondensatorbank går sönder (Surajit, Madhuchhanda & Samarjit 2011).

I ett idealt balanserat trefassystem med last passerar ingen ström genom neutralledaren, men om fasvinklarna är asymmetriska eller amplitudernas storlek varierar resulterar det i att en ström går genom neutralledaren. Strömmar som går i neutralledaren blir en effektförlust i form av värme som utvecklas av neutralledarens resistans.

För att förbygga obalans bör lasten delas upp jämnt över faserna. I de fallen där detta problem inte går att förebygga finns andra lösningar. Exempelvis genom installation av ett aktivt filter parallellt med lasten. Två andra lösningar är antingen en steinmetz-koppling som gör en enfasig last till trefasig eller en Scott-transformator som transformerar tvåfasspänning till trefasspänning (Cobben 2016).

2.3 Solpaneler

En solpanel är uppbyggd av flera solceller. Solceller är halvledare som genererar elektrisk energi då solens strålar träffar den. En solcell är byggd i flera olika skikt där det översta består av en glasskiva och en hinna med antireflekterande egenskaper för att minimera reflektionen av solljuset då det väl har träffat cellen. Under glaset finns en N-dopad och en P-dopad kiselplatta med två tillhörande kontakter. Vid solljus skapas det mellan plattorna en PN-övergång som får elektronerna att vilja vandra från den ena plattan till den andra. Kontakterna som sammanbinder plattorna möjliggör att elektroner kan ledas i motsatt riktning mot hur de vandrar mellan plattorna och på så vis skapas en DC-ström (Save by Solar 2018).

Enstaka solceller ger inte tillräckligt hög effekt. För att öka effekten serie- och parallellkopplas flera solceller till en solpanel. Effekten från panelen beror på solinstrålning och rådande temperatur, där en högre temperatur ger lägre effektivitet. För att maximera solpanelens effekt kan optimerare användas. Dessa benämns ofta som MPPT (Maximum Power Point Tracking). Optimeraren monteras antingen vid modulen eller vid växelriktaren (SEK 2019).

De tre vanligaste typerna av solpaneler som finns idag är monokristallina, polykristallina och tunnfilmspaneler. Polykristallina har lägst kostnad per installerad watt och är i dagsläget de mest förekommande. De monokristallina kostar mer än polykristallina men genererar en högre produktion vid svag solinstrålning (SEK 2019). Tunnfilmssolceller är böjbara i formen vilket gör att de kan placeras där de två kristallina typerna inte kan användas. De är ett dyrare alternativ än de andra två typerna och används därför inte i samma utsträckning (Energimyndigheten 2019.a.).

Installationen av en solcellsanläggning möjliggör att den fastighet som den ansluts till kan drivas av den producerade elen. För att kunna nyttja likströmmen som produceras av solpanelen måste den omvandlas till växelström. Omriktningen sker med hjälp av en växelriktare. Skulle överproduktion uppstå, exempelvis vid mycket soliga dagar, kan överskottselen säljas till något av alla elhandelsbolag som köper el från mikroproducenter. En mikroproducent definieras som en kund som producerar maximalt 43,5 kW med 63A huvudsäkring. Högre produktion räknas som småskalig produktion där gränsen går vid 1500 kW (Borås Elnät (u.å.)).

Tobias Andersson[1] berättar att ett krav som ställs på solcellsanläggningarna är att de ska kunna frånskiljas så att inte bakspänning kan uppstå. Det är viktigt att de som arbetar med nätet kan vara säkra på att anläggningen är frånskild så att det inte uppstår olyckor. Att kunna frånskilja solcellsanläggningarna ligger också i linje med Räddningstjänstens (2018) råd och rekommendationer. För att förenkla deras eventuella brandbekämpning vill räddningstjänsten kunna ha brytaren lättillgänglig. SEK (2019) menar att vid enklare anläggningar är målet att montera lastfrånskiljarna till DC-sidan så nära solpanelerna som möjligt.

3 SOLCELLER OCH DESS PÅVERKAN PÅ ELNÄTET

Statistik från Energimyndigheten (u.å.) visar att den totala installerade effekten av solcellsanläggningar 2019 var 698 MW fördelat på totalt 43 944 anläggningar. Energimyndigheten (2016) har i en rapport förutspått hur påverkan på elnätet kommer att bli. Deras uppfattning är att Sverige i nuvarande läge fram till 2022 är i fas 1 vilket är en fas med låg eller medelhög andel solcellsinstallationer. I fas 1 finns viss risk för överbelastning på elnätet. Från 2022 och fram till 2040 är Sverige inne i fas 2 vilket är en expansiv fas med en större andel solcellsanläggningar i distributionsnäten jämfört med fas 1. Slutligen efter 2040 går Sverige in i fas 3 där solcellsanläggningarna kommer att ha en betydande roll i distributionssystemet. Energimyndigheten (2016) bedömer att dagens solcellsinstallationers låga påverkan ändå kan ge upphov till sänkt elkvalitet framförallt på landsbygdsnät t.ex. som överspänningar och överbelastningar.

Ett problem som potentiellt kan uppstå med solcellsanläggningar är okontrollerad ö-drift. Det innebär att anläggningen fortsätter sin produktion även när elnätet som den är kopplad till blir spänningslöst. Det blir en säkerhetsrisk för personal som utför arbete på nätet i tron om att det är spänningslöst. För att undvika okontrollerad ö-drift finns det krav på skyddsanordningar i form av skyddskretsar i växelriktare eller installation av separata komponenter (SEK 2014).

Övertoner är ett annat problem som kan uppstå i framförallt solcellsanläggningens växelriktare. En större del av nyare växelriktare har filter som hindrar övertoner och använder även ett system som ska skydda från att systemet bakmatas (Energimyndigheten 2016).

För att mäta effekterna av solpanelernas produktion kan elkvalitetsmätare användas. Tobias Andersson beskriver att Borås Elnät är i uppstartsfasen av att installera elkvalitetsmätare i större utsträckning i deras befintliga nät. En elkvalitetsmätare av modell Metrum SC sitter monterad i anslutning till en solcellsanläggning. Denna är monterad på en lagerbyggnad i anslutning till deras kontor för att kunna se om anläggningen påverkar elnätet i närområdet. Från mätaren samlas data in gällande spänning, ström, frekvens, obalans, spänningssprång, flimmer och övertoner. Alla mätvärden har förinställda gränsvärden gällande högsta och lägsta värden.

[1] Telefonintervju med Tobias Andersson, Driftingenjör Borås Elnät 2020-03-30

Rapporten som sedan går att få ut från mätaren utgår från kraven i EIFS 2013 där Energimarknadsinspektionen ger allmänna råd och krav om god elkvalitet. Data sammanställs veckovis och från den kan användaren utläsa om resultatet av mätningarna var godkända eller inte. Tobias Andersson berättar vidare att det från Borås Elnäts sida inte finns några gränsvärden på hur stora solcellsanläggningar som får användas för att mata ut el på det befintliga elnätet. De kan inte heller neka anslutning av en solcellsanläggning som är byggd för egenkonsumtion. Tobias menar att de inte har märkt av några större problem gällande solcellsanläggningar på deras elnät.

Henrik Rinnemo[2] berättar att de har nästan en miljon kunder på västkusten, i Stockholmsregionen samt i Värmland. Av dessa är det ungefär 6000 kunder som har solcellsanläggningar installerade. Han upplever att solcellsanläggningar inte har någon negativ påverkan på elkvaliteten, men menar att som trenden ser ut med ökande antal anläggningar har de har börjat undersöka huruvida de kan få några problem i framtiden. Det som solcellsanläggningarna påverkar mest gällande elkvalitet menar Henrik är spänningshöjningar. För att upprätthålla elkvaliteten är det viktigt att spänningen håller sig inom gränsvärdena. Henrik beskriver också att övertoner är ett annat problem som de skulle behöva undersöka vidare om det påverkar nätet och i vilken utsträckning. Eftersom växelriktare avger övertoner skulle en större andel växelriktare ge upphov till större mängd övertoner. Det finns i dagsläget inga gränsvärden för hur mycket övertoner ett objekt får avge.

Henrik beskriver hur de följer Energiföretagens handbok ’Anslutning av elproduktion till lågspänningsnätet’ – ALP (2020) för att bestämma om en anläggning kan anslutas till elnätet. I handboken går det att läsa att spänningen i en leveranspunkt inte får påverka spänningen med mer än 5 %. Den ska ej heller påverka spänningen i närliggande punkter, exempelvis kabelskåp med mer än 3 %. Deras tillvägagångssätt har hittills varit att göra beräkningar på hur stor impedansen blir fram till kund och vilken effekt kunden ska ansluta. Utifrån det beräknas om gränsvärdena kommer att efterföljas.
Henrik redogör för att ALP är bra riktlinjer att följa då det gäller en enskild anläggning. Dessa siffror tar dock inte hänsyn till den ackumulerade påverkan som kan uppstå då flera anläggningar är anslutna i närheten av varandra.

Henrik berättar att de under året 2020 ska göra olika simuleringar och beräkningar för att försöka fastställa hur många solcellsanläggningar som ger upphov till en sämre elkvaliteten. Syftet ska vara att komma fram till vilken typ av elnät som klarar av olika typer av effekt och var gränsen går. Planen innefattar också att se hur övertoner påverkar elnätet. Med hjälp av uppmätta impedanser från elnätet kommer simuleringar att utföras för att se hur olika frekvenser kan påverka det.

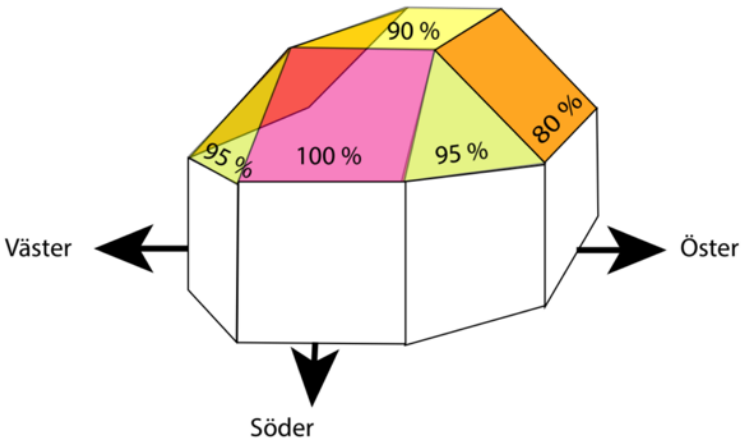
[2] Telefonintervju med Henrik Rinnemo, Teknisk Utveckling Ellevio AB 2020-04-08

4 OPTIMERING AV SOLCELLSANLÄGGNING

Vid installation av en solcellsanläggning är första steget att kartlägga hur effektbehovet ser ut för den tänkta anslutna byggnaden. Därefter bestäms hur många paneler som krävs för att uppnå effektbehovet och hur mycket plats de kommer att uppta. Förutsättningarna för solinstrålning på platsen bör också ses över samt vilket väderstreck som panelerna ska installeras åt. En tidig kontakt med nätägare rekommenderas om anläggningen ska anslutas till det befintliga elnätet (SEK 2019). Vid risk för skuggeffekter måste även dessa tas i beaktning eftersom solcellerna är seriekopplade. Om en panel skuggas kan det bidra till att hela modulen eller i värsta fall hela panelens uteffekt påverkas (Energimyndigheten 2019.c.).

En viktig punkt att ta hänsyn till när anläggningen ska dimensioneras är att anläggningen inte blir för stor. Elen som anläggningen överproducerar och skickar ut på elnätet ger mindre betalt än inköpspriset på el. Några orsaker till det är elöverföringsavgifter, moms och energiskatt. Installation av en solcellsanläggning kan ge upphov till olika subventioner som bör tas i beaktning när kalkylen av anläggningen görs. Dessa subventioner kan exempelvis vara investeringsstöd som betalar upp till 20 % av den totala kostnaden för anläggningen. Ett annat exempel är skattereduktion som genererar minskad skatt på 60 öre per kWh el som produceras och matas ut på elnätet upp till maximalt 18 000 kr (Energimyndigheten 2019.b.).

För att uppnå högsta möjliga årliga produktion ska solcellsanläggningen installeras åt syd, sydöst eller sydväst vilket illustreras i figur 1. Men installation i öst- och västläge medför att produktionen istället blir högre på morgon och kväll vilket kan vara lämpligt exempelvis för villainstallationer eller flerbostadshus. Orsaken är att de boende generellt inte använder så mycket el under dagen då den största delen elanvändning istället sker under morgon och kvällstid (Energimyndigheten 2019.c.).



Figur 1. Instrålning i förhållande till takets orientering (SEK 2019)

Panelernas lutning för optimal produktion i Sverige hamnar mellan 30 och 50 grader. I mellersta Sverige är den optimala lutningen ~40 grader. Nackdelen med en sådan brant lutning är en svårare och mer kostsam installation. Därför sker installationer oftast på tak med en lägre taklutning.

För att dimensionera anläggningen behöver tre faktorer beaktas:

1. Hur stor blir summan av panelernas toppeffekt vid STC. STC står för Standard Test Condition och betyder att panelerna är testade under standardiserade och optimala förhållanden. Panelerna kan ha upp till 30 % högre effekt än märkeffekten på växelriktaren. Dels för att effekten som ges under STC-förhållandena nästan aldrig uppnås och dels för att växelriktaren är byggd för att under kort tid kunna arbeta med viss överlast. Den högsta effekten som går att generera kan uppstå ett par timmar per år och växelriktaren kommer inte att kunna omvandla den effekten. Resultatet blir en liten förlust sett över årsbasis.
2. Växelriktarens övre inspänningsgräns U_{max} bestämmer hur många moduler som kan seriekopplas. Dessa benämns U_{0C} vid 1000 W/m^2 och -10°C. Vid användning av kiselceller används sambandet $U_{max} > N \times U_{0C}$ (25°C) * 1,2. Där N är antalet seriekopplade solpaneler och U_{0C} för 25°C fås ur tabell från tillverkare. U_{max} fås från tillverkarens datablad. 1,2 används som korrigering då U_{0C} ökat från -10°C. Många växelriktare är konstruerade med ett U_{max} då anläggningen är i drift och ett U_{max} som är högre och är aktuellt när växelriktaren inte matar ut spänning på nätet och panelerna är vid U_{0C}. I det fallet blir ingen ström producerad. Vid för hög inspänning kan växelriktaren skadas eller orsaka fel.
3. Växelriktaren har även en nedre inspänningsgräns U_{min} som bestämmer det minsta antalet inkopplade moduler. Lägsta spänningen fås från U_{mp} vid 65°C och 1000 W/m^2. Vid användning av kiselceller används sambandet $U_{min} < N \times U_{mp}$ (25°C) / 1,2 där värdena för U_{mp} (25°C) och U_{min} ges ur tillverkarens datablad och N bestämmer lägsta antalet seriekopplade moduler. 1,2 används som korrigering för minskningen av U_{mp} vid 65°C Om skuggning av modulerna förekommer blir resultatet en spänningssänkning av 15 V per skuggad modul givet att bypass-dioden leder strömmen förbi den skuggade modulen. Om det finns risk för skuggning av panelen bör dimensioneringen göras så att antal moduler väljs så nära den övre spänningsgränsen som möjligt (SEK 2019).

5 MATERIAL OCH METOD

I detta kapitlet beskrivs vilka källor som använts för att kunna genomföra arbetet samt de programvaror som har använts för att simulera olika solcellsinstallationer.

5.1.1 Intervjuer

Under frågeställningen ”På vilka grunder beviljar elnätsägaren installation av solcellsanläggningar och hur påverkar det elkvaliteten” har författarna intervjuat personer som arbetar på olika elnätsbolag. Upplägget har varit att ställa frågor om hur de på sitt företag hanterar kunder som vill koppla in sig på det befintliga elnätet samt om de har märkt av några problem gällande elkvaliteten på deras elnät. Intervjuerna gjordes via Skype och spelades in för att kunna gå tillbaka och referera till det som sades.
Information om befintliga anläggningar som har använts i simuleringar har tillhandahållits av Mats Christensen som arbetar på Borås stad.
Författarna har också fått en förevisning på Högskolan i Borås i hur mätutrustningen från Metrum fungerar.
En stor del information och förmedlande av kontakter har tillhandahållits av Johan Gustavsson på Vinnergi.

5.1.2 Simulering med PVSyst

PVSyst är en programvara som används till att simulera solcellsinstallationer. Före simuleringen väljs hur stor effekt panelerna ska ha, vilken effekt växelriktaren ska ha samt om optimerare kommer att användas. Efter att användaren har ställt in de olika parametrarna som installationen ska ha körs simuleringen. Programmet ger detaljerad information gällande exempelvis solinstrålning per månad, hur stor del av ljuset som träffar panelen beroende på vinkel samt effektivitet och uteffekt. Solinstrålningen beräknas genom användning av data från Meteo Database som är en samling väderdata från ett flertal meteorologiska källor.
PVSyst har använts för att simulera scenarion där befintliga solcellsinstallationer inte finns idag. Simuleringarna har gjorts med panelerna monterade i öst, väst, syd eller en kombination och sedan har den mest optimala lösningen valts ut.

5.1.3 Beräkningar

En LCOE-kalkyl upprättades för samtliga simuleringar. LCOE står för Levelized Cost of Electricity och är en standard som används för att få en rättvis bild om vad en kilowattimme kostar. Beräkningen används av de flesta aktörer på den internationella marknaden. Den stora fördelen med att använda LCOE är att kalkylen får med alla kostnader från början (Eneo 2018).

Antaganden gällande solcellsanläggningens kostnader och effektivitet har hämtats dels från färdiga kalkyler och dels från Energimyndighetens sida Solelkalkylen (Energimyndigheten 2019.d.).

Beräkningar gällande spänningsvariationer i ett kabelskåp isolerat från det övriga elsystemet har gjorts med hjälp av följande formler:

$$U_{spänningsfall} = U_{ref} - \frac{P * R}{U_{ref} * \sqrt{3}}$$

$$U_{spänningshöjning} = \frac{P * R}{U_{ref}} + U_{ref} = \frac{(P_{produktion} - P_{konsumtion}) * R}{U_{ref}}$$

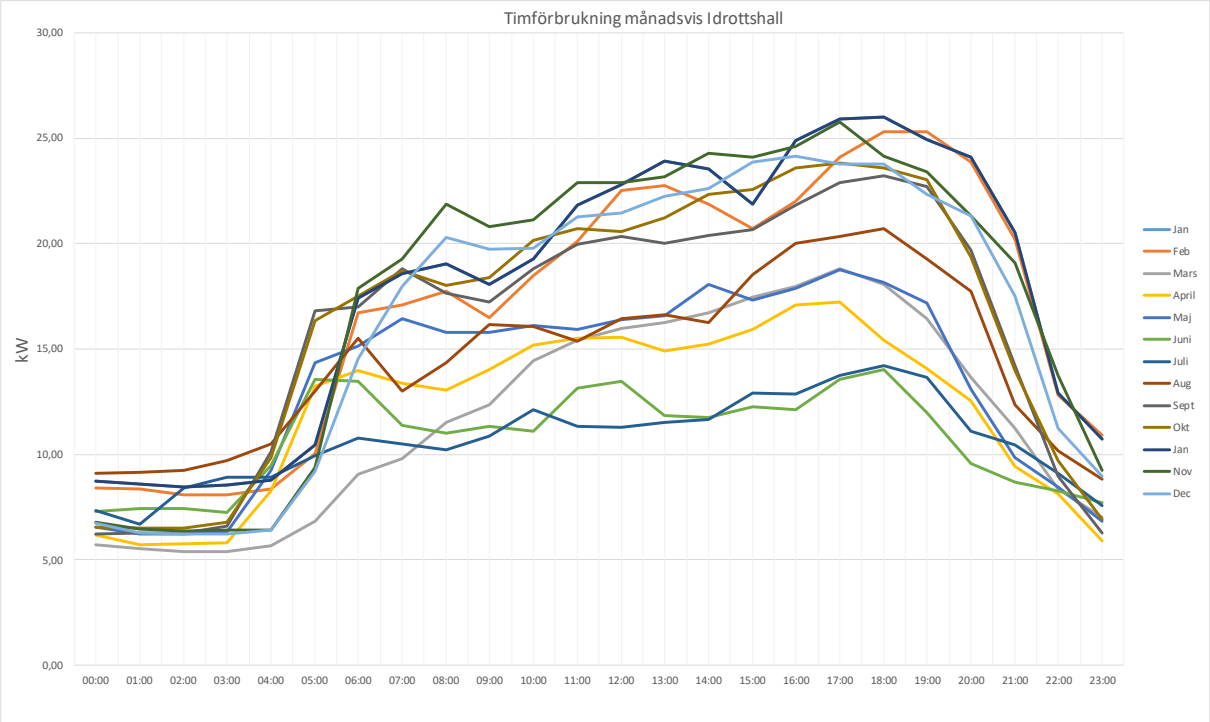
Beräkningarna har baserats på verkliga konsumtionsdata och med simulerade produktionsdata som underlag. Beräkningarna har sedan utförts i Microsoft Excel.

6 RESULTAT

Dimensionering av solcellanläggningar har gjorts på olika typer av byggnader. Som underlag har data inhämtats från verkliga byggnaders konsumtion år 2019. Simuleringar av solcellsanläggningens potentiella produktion har gjorts i programvaran PVSyst.
Anläggningen har optimerats så att en så liten del som möjligt av den producerade elen säljs till andra kunder.

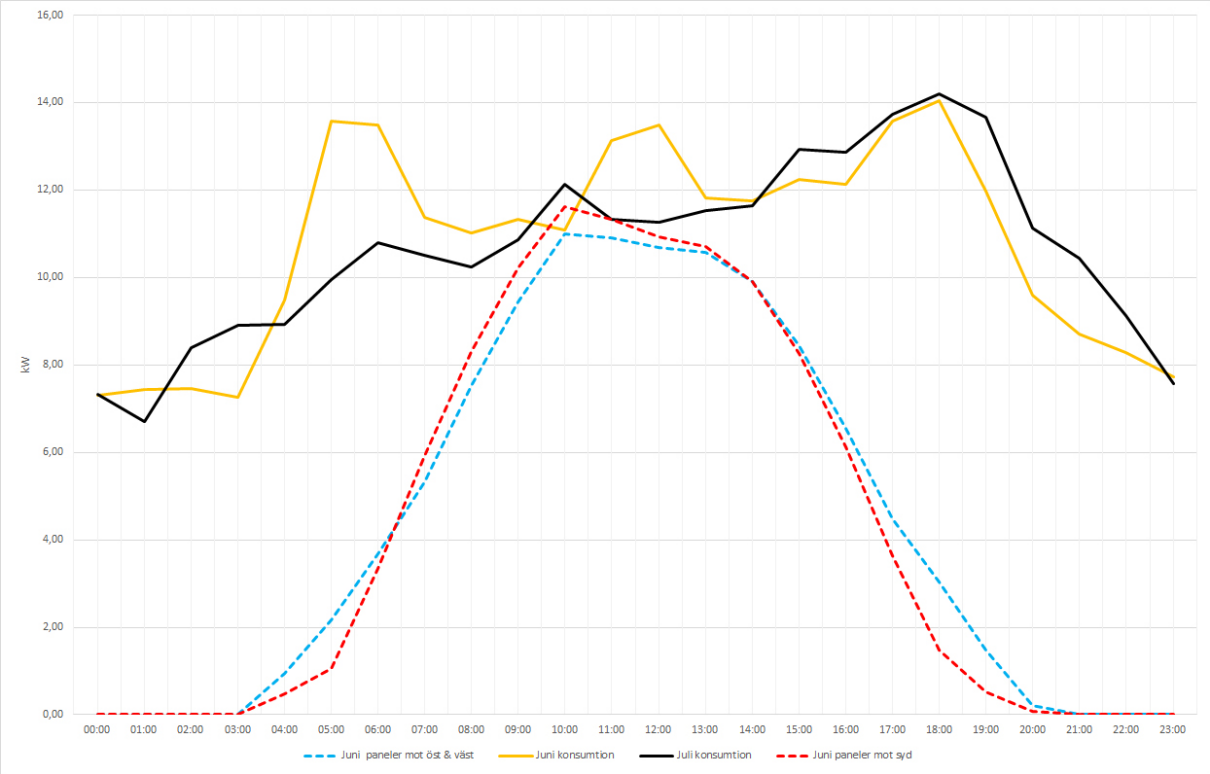
6.1.1 Idrottshall

Figur 2 illustrerar en verklig idrottsanläggnings årsförbrukning av el. Denna data har sedan använts till dimensionering av en solcellsanläggning.



Figur 2. Timförbrukning el månadsvis i idrottshall

Dimensionering av anläggning har gjorts med avseende på elkonsumtionens timmedelvärde i juni månad. I figur 3 visas konsumtion i juni och juli månad samt simulerad produktion av solcellanläggning i öst-/västläge respektive söderläge.
Anläggningen har dimensionerats till 23,6 kWp vilket är panelernas toppeffekt och har en total modularea på 87 m^2. Effekten begränsas av växelriktarens toppeffekt som är 16,5 kW.



Figur 3. Idrottshalls konsumtion och simulerad produktion

LCOE-kalkyl har gjorts för två olika scenarion. Scenario 1 är ett gynnsamt scenario med hög egenanvändning och ett lågt inköpspris på solpanel per kW, detta visas i tabell 1. Scenario 2 är ett mer rimligt scenario med lägre egenanvändning och årsproduktion samt ett högre pris per kW, detta visas i tabell 2. En LCOE-kalkyl för idrottshallen finns i bilaga 1.

Tabell 1. Scenario 1 idrottshall

Scenario 1, 10000 kr/kW och 95 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	60 163	kr
Diskonterad återbetalningstid	20	år
Internränta (IRR)	5,2%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	75 751	kr
Diskonterad återbetalningstid	18	år
Internränta (IRR)	6,2%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**94 803**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**12**	år
Internränta (IRR)	**7,6%**	%

Tabell 2. Scenario 2 idrottshall

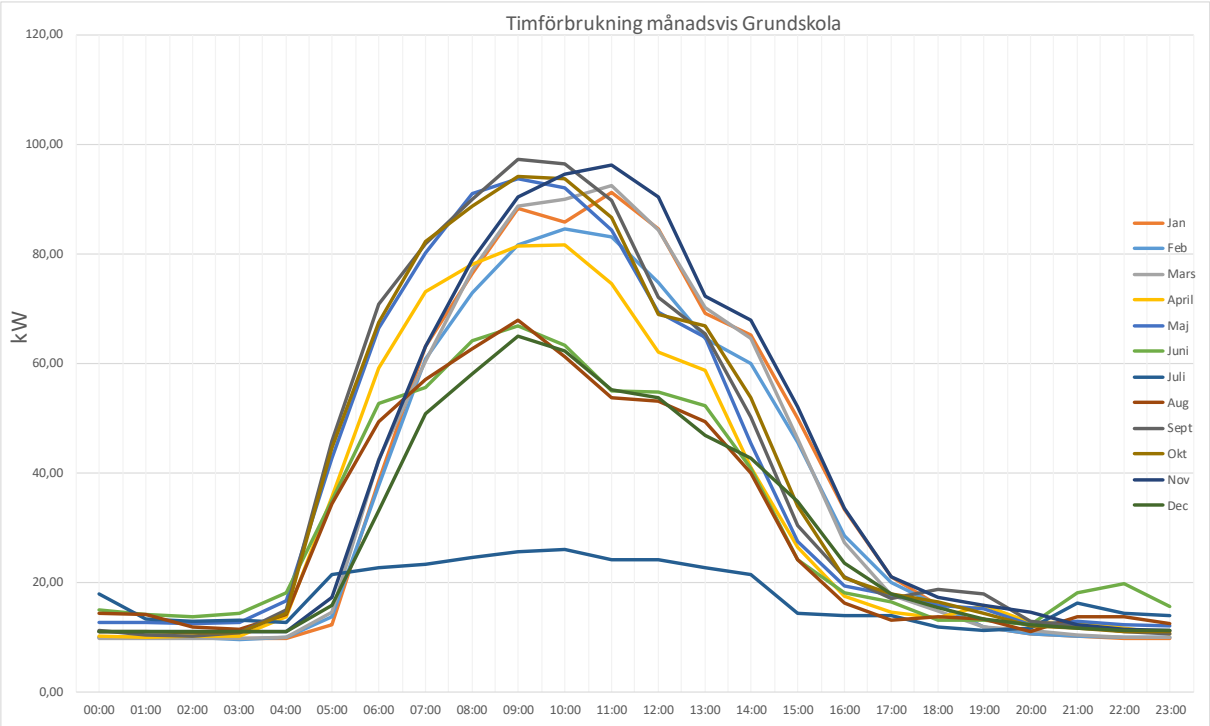
Scenario 2, 12000 kr/kW och 93 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	22 183	kr
Diskonterad återbetalningstid	26	år
Internränta (IRR)	3,4%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	40 889	kr
Diskonterad återbetalningstid	23	år
Internränta (IRR)	4,2%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**63 751**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**19**	år
Internränta (IRR)	**5,5%**	%

Utdrag från simuleringsdata finns i bilaga 2.

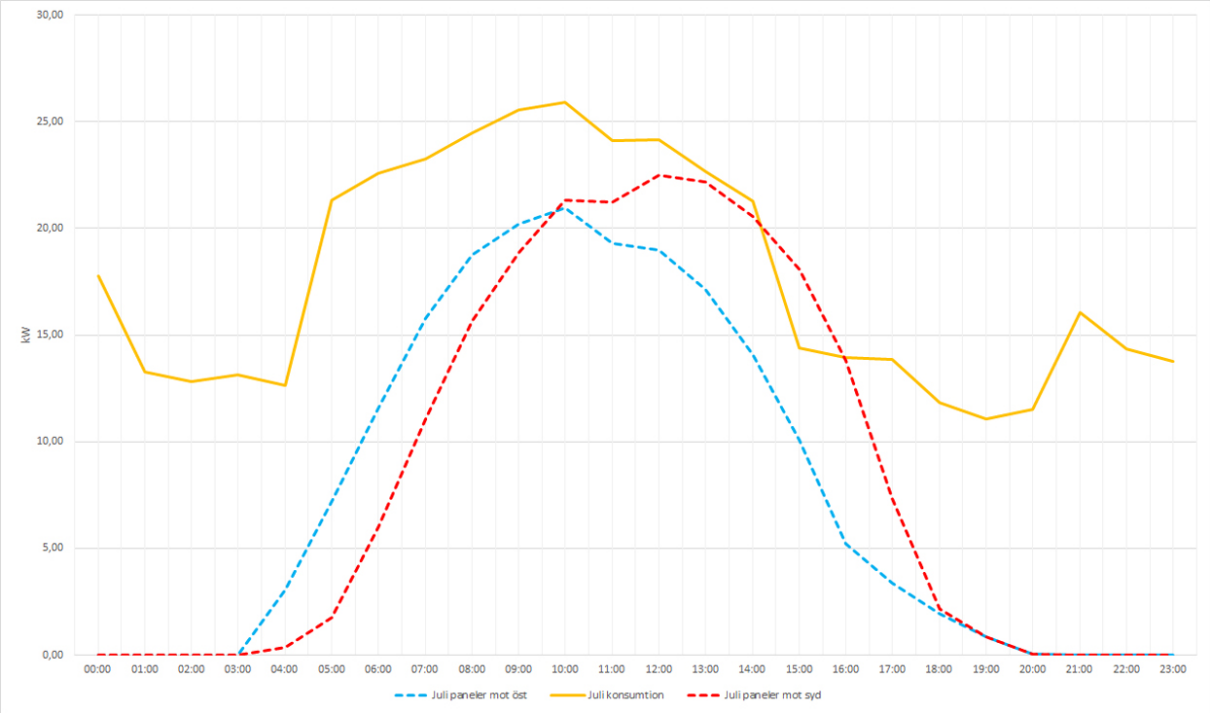
6.1.2 Grundskola

Figur 4 illustrerar en verklig grundskolas årsförbrukning av el. Skolan är utrustat med eget kök och en stor gymnastiksal. Data har använts för dimensionering av en solcellsanläggning.



Figur 4. Timförbrukning månadsvis i grundskola

Dimensionering av anläggning har gjorts med avseende på elkonsumtionens timmedelvärde i juli månad. I figur 5 visas konsumtionen i juli månad samt simulerad produktion av solcellanläggning i öst- respektive söderläge.
Anläggningen har dimensionerats till 50,4 kWp vilket är panelernas toppeffekt och har en total modularea på 364 m^2. Effekten begränsas av växelriktarens toppeffekt som är 43,6 kW.



Figur 5. Grundskolas konsumtion och simulerad produktion

LCOE-kalkyl har gjorts för två olika scenarion. Scenario 1 är ett gynnsamt scenario med hög egenanvändning och ett lågt inköpspris på solpanel per kW, detta visas i tabell 3. Scenario 2 är ett mer rimligt scenario med något lägre egenanvändning och årsproduktion samt ett högre pris per kW, detta visas i tabell 4. LCOE-kalkyl har använt samma värden som för idrottshallen i bilaga 1 bortsett från förändrad storlek på anläggningen. Energiutbytet sattes till 874 kWh/kw*år utifrån simuleringen som utfördes.

Tabell 3. Scenario 1 grundskola

Scenario 1, 9500 kr/kW och 95 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	257 032	kr
Diskonterad återbetalningstid	17	år
Internränta (IRR)	6,5%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	300 124	kr
Diskonterad återbetalningstid	13	år
Internränta (IRR)	7,6%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**352 792**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**11**	år
Internränta (IRR)	**9,1%**	%

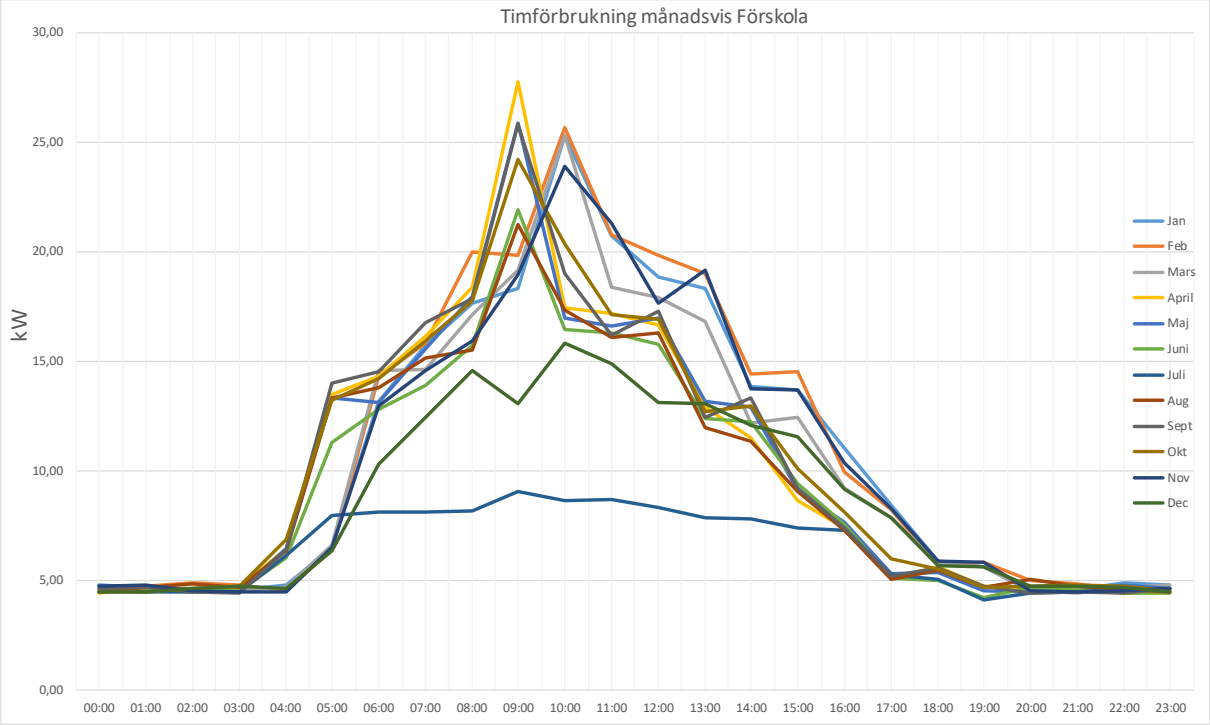
Tabell 4. Scenario 2 grundskola

Scenario 2, 11500 kr/kW och 93 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	146 502	kr
Diskonterad återbetalningstid	22	år
Internränta (IRR)	4,5%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	196 502	kr
Diskonterad återbetalningstid	19	år
Internränta (IRR)	5,3%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**262 422**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**15**	år
Internränta (IRR)	**6,7%**	%

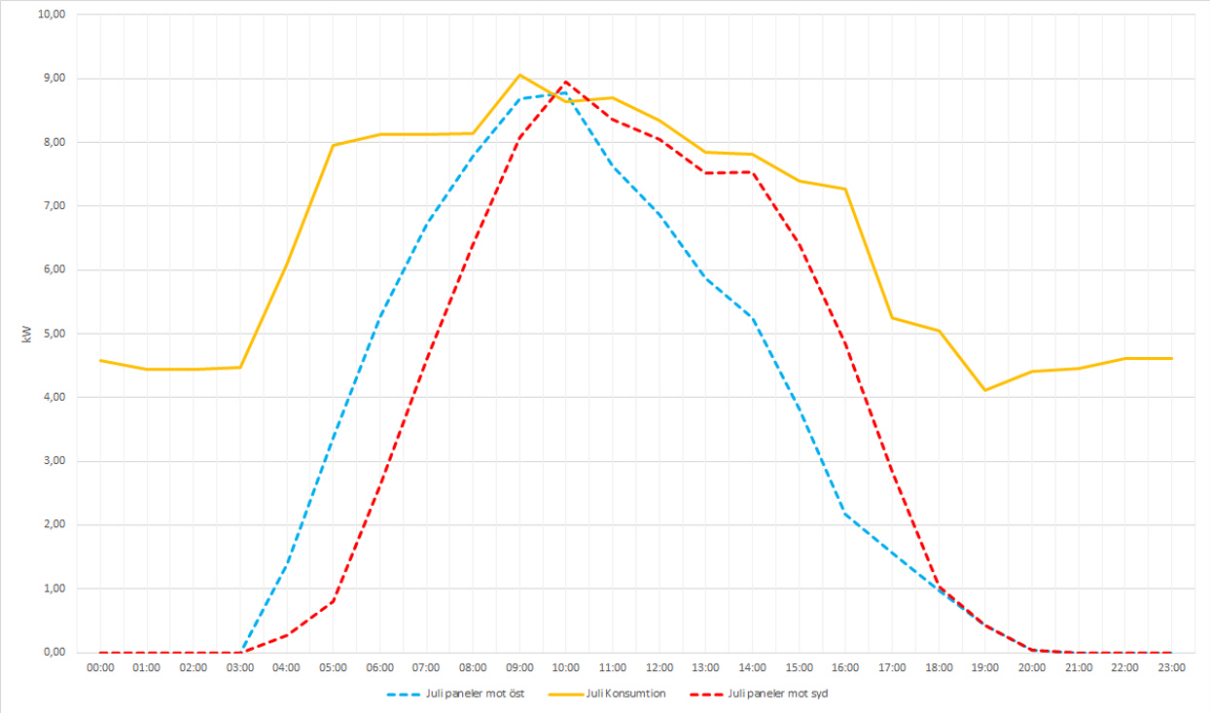
6.1.3 Förskola

Figur 6 illustrerar en verklig förskolas årsförbrukning av el. Data har använts för dimensionering av en solcellsanläggning.



Figur 6. Timförbrukning månadsvis i förskola

Dimensionering av anläggning har gjorts med avseende på elkonsumtionens timmedelvärde i juli månad. I figur 7 visas konsumtion i juni månad samt simulerad produktion av solcellanläggning i öst- respektive söderläge.
Anläggningen har dimensionerats till 18,9 kWp vilket är panelernas toppeffekt och har en total modularea på 117 m^2. Effekten begränsas av växelriktarens toppeffekt som är 17 kW.



Figur 7. Förskolas produktion och konsumtion i juli

LCOE-kalkyl har gjorts för två olika scenarion. Scenario 1 är ett gynnsamt scenario med hög egenanvändning och ett lågt inköpspris på solpanel per kW, detta visas i tabell 5. Scenario 2 är ett mer rimligt scenario med något lägre egenanvändning och årsproduktion samt ett högre pris per kW, detta visas i tabell 6. LCOE-kalkyl har använt samma värden som för idrottshall i bilaga 1 bortsett från förändrad storlek på anläggningen. Energiutbytet sattes till 903 kWh/kw*år utifrån simuleringen som utfördes.

Tabell 5. Scenario 1 förskola

Scenario 1, 10500 kr/kW och 95 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	69 116	kr
Diskonterad återbetalningstid	20	år
Internränta (IRR)	5,2%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	86 976	kr
Diskonterad återbetalningstid	18	år
Internränta (IRR)	6,2%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**108 806**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**13**	år
Internränta (IRR)	**7,6%**	%

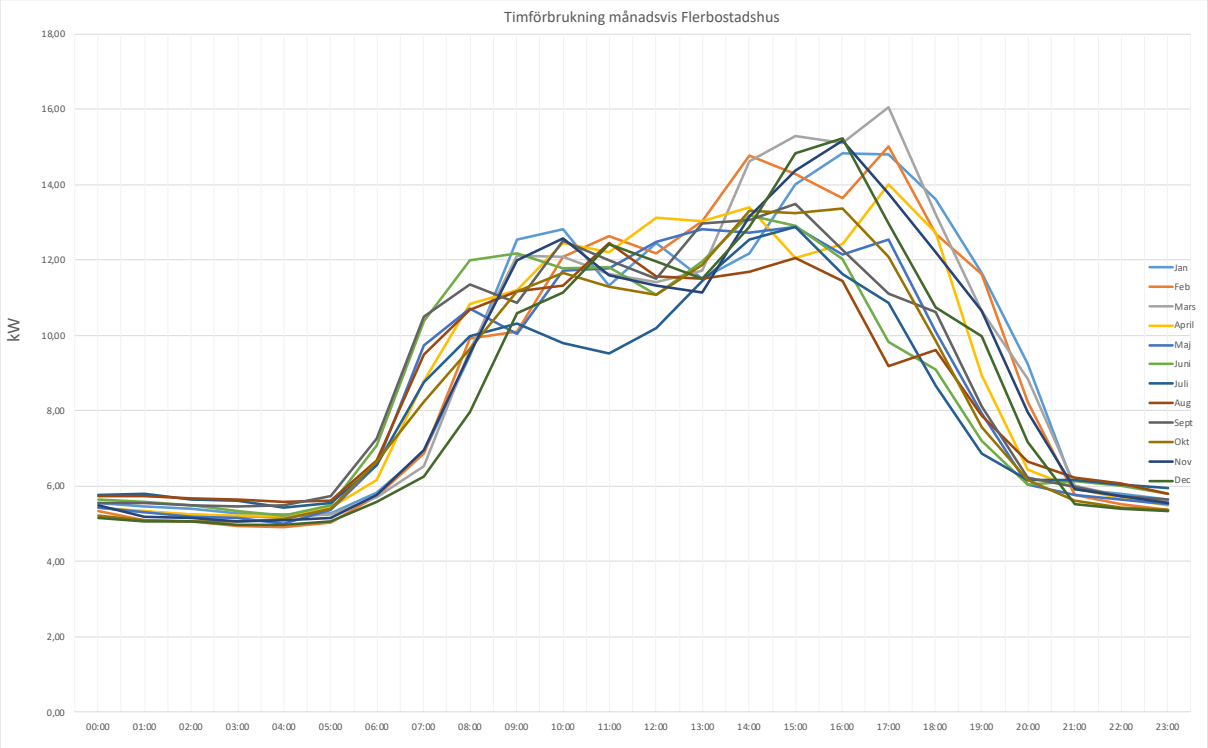
Tabell 6. Scenario 2 förskola

Scenario 2, 12500 kr/kW och 93 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	27 546	kr
Diskonterad återbetalningstid	26	år
Internränta (IRR)	3,4%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	48 808	kr
Diskonterad återbetalningstid	22	år
Internränta (IRR)	4,3%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**74 796**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**19**	år
Internränta (IRR)	**5,5%**	%

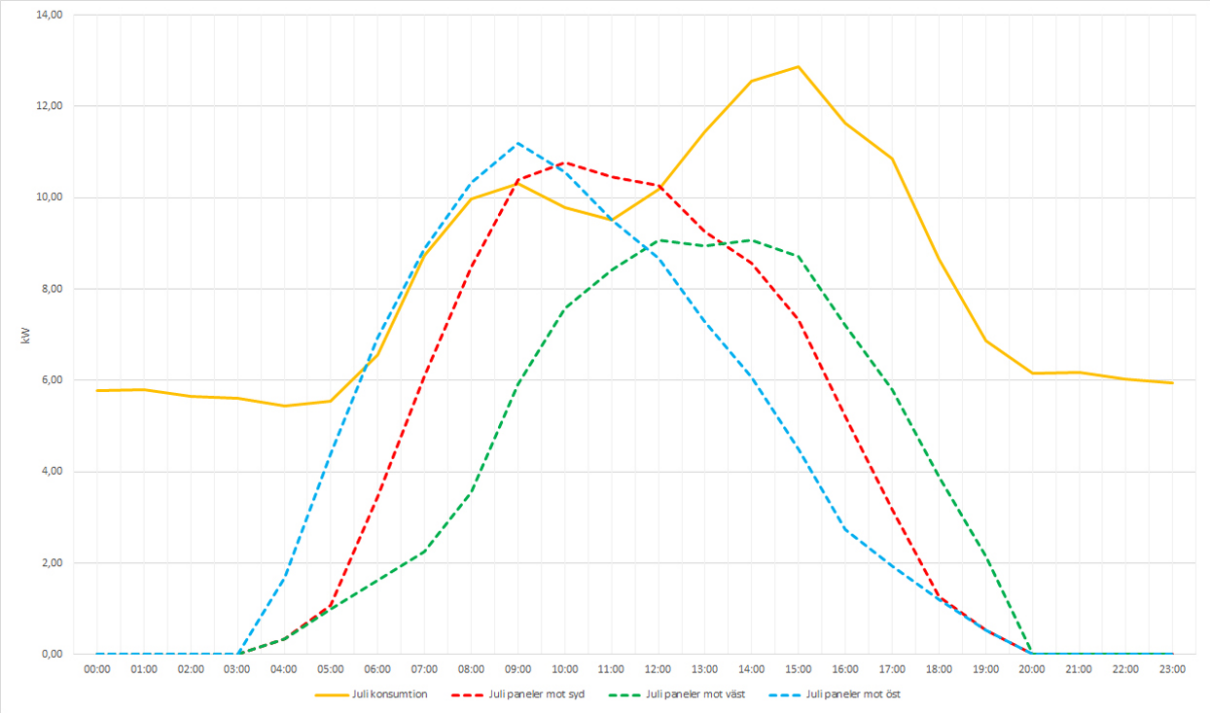
6.1.4 Flerbostadshus

Figur 8 illustrerar ett verkligt flerbostadshus årsförbrukning av el. Data har använts för dimensionering av solcellsanläggning.



Figur 8. Timförbrukning månadsvis i flerbostadshus

Dimensionering av anläggning har gjorts med avseende på elkonsumtionens timmedelvärde i juli månad. I figur 9 visas konsumtion i juni månad samt simulerad produktion av solcellanläggning i öst/väst-läge respektive söderläge.
Anläggningen har dimensionerats till 22,7 kWp vilket är panelernas toppeffekt och har en total modularea på 140 m^2. Effekten begränsas av växelriktarens toppeffekt som är 20 kW.



Figur 9. Flerbostadshus produktion och konsumtion i juli

LCOE-kalkyl har gjorts för två olika scenarion. Scenario 1 är ett gynnsamt scenario med hög egenanvändning och ett lågt inköpspris på solpanel per kW, detta visas i tabell 7. Scenario 2 är ett mer realistiskt scenario med något lägre egenanvändning och årsproduktion samt ett högre pris per kW, detta visas i tabell 8. LCOE-kalkyl har använt samma värden som för idrottshall i bilaga 1 bortsett från förändrad storlek på anläggningen. Energiutbytet sattes till 913 kWh/kw*år utifrån simuleringen som utfördes.

Tabell 7. Scenario 1 flerbostadshus

Scenario 1, 10500 kr/kW och 95 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	91 390	kr
Diskonterad återbetalningstid	19	år
Internränta (IRR)	5,5%	%

Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	112 822	kr
Diskonterad återbetalningstid	16	år
Internränta (IRR)	6,4%	%

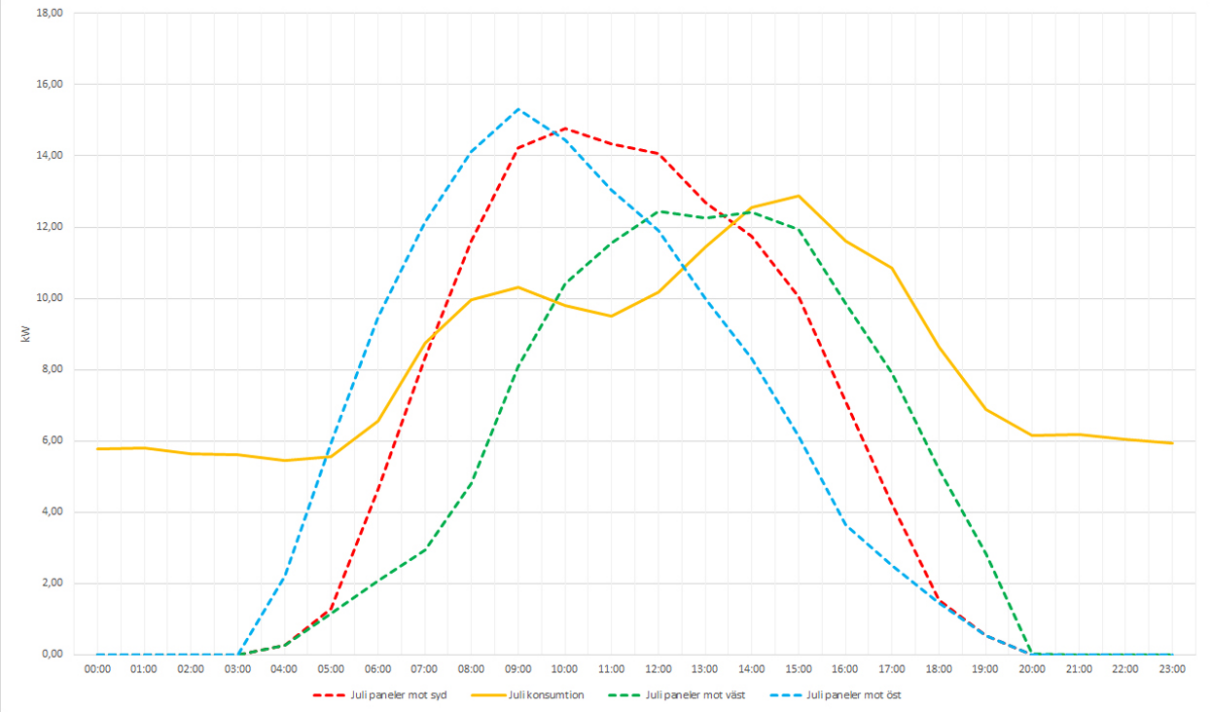
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**139 018**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**12**	år
Internränta (IRR)	**7,9%**	%

Tabell 8. Scenario 2 flerbostadshus

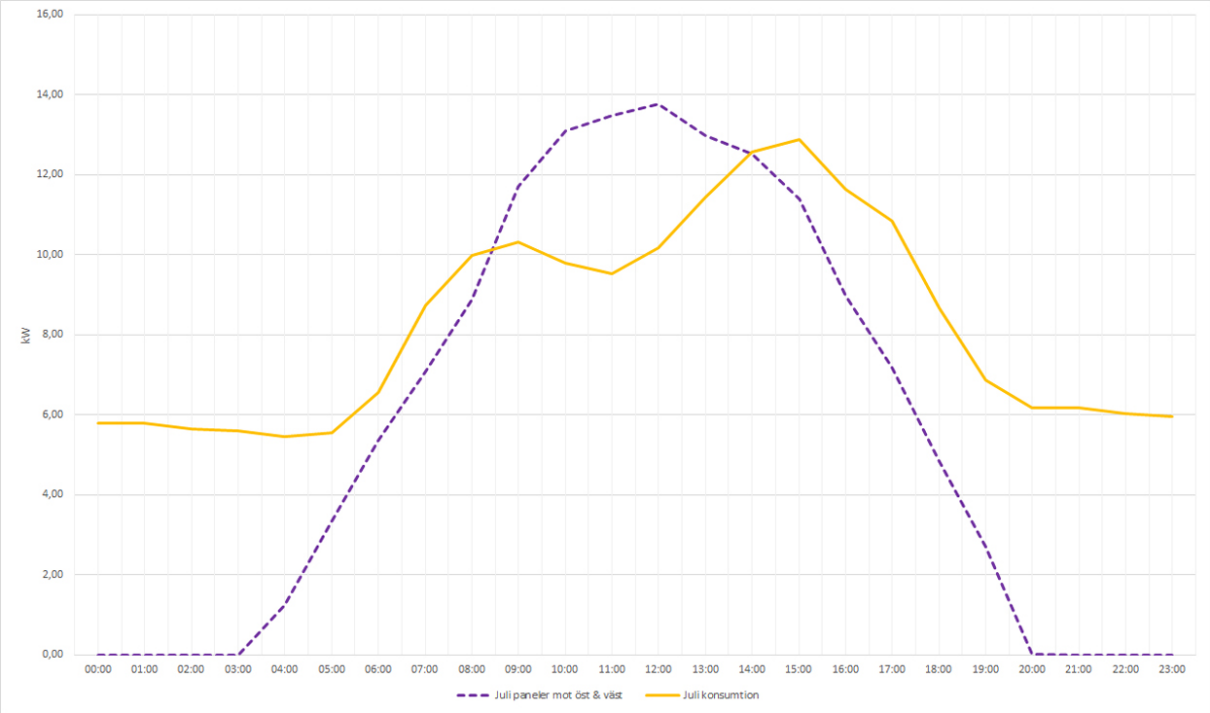
Scenario 2, 12500 kr/kW och 93 % egenanvändning

Utan ROT-avdrag och investeringsstöd, med eventuell skattereduktion		
Nuvärde	41 456	kr
Diskonterad återbetalningstid	25	år
Internränta (IRR)	3,7%	%
Med ROT-avdrag och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	66 971	kr
Diskonterad återbetalningstid	22	år
Internränta (IRR)	4,5%	%
Med investeringsstöd och eventuell skattereduktion		
Nuvärde	**98 156**	kr
Diskonterad återbetalningstid	**18**	år
Internränta (IRR)	**5,8%**	%

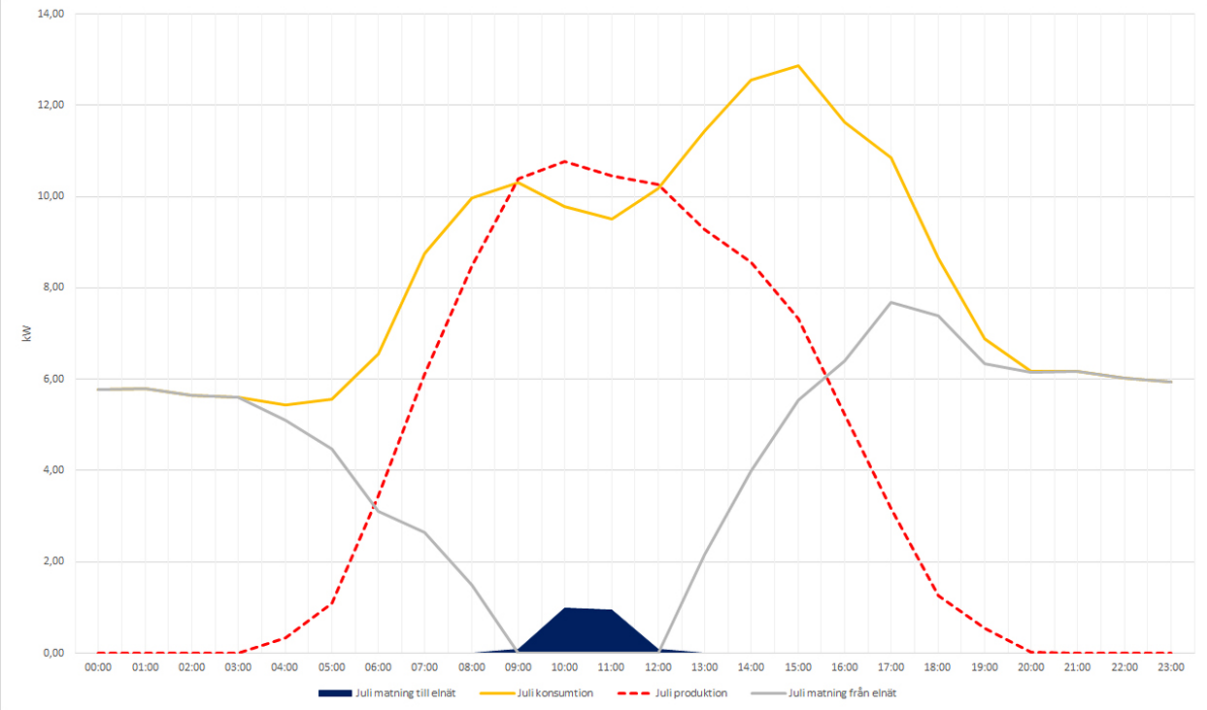
Dimensionering med paneler mot väst samt en kombination av öst och väst med en högre paneleffekt gjordes i ett försök att jämna ut flerbostadshusets förbrukningskurva. Detta visas nedan i figur 10 och figur 11. Figur 12 visar konsumtion och produktion i söderläge samt in och utmatning till och från elnätet.



Figur 10. Flerbostadshus paneler dimensionerade mot väst



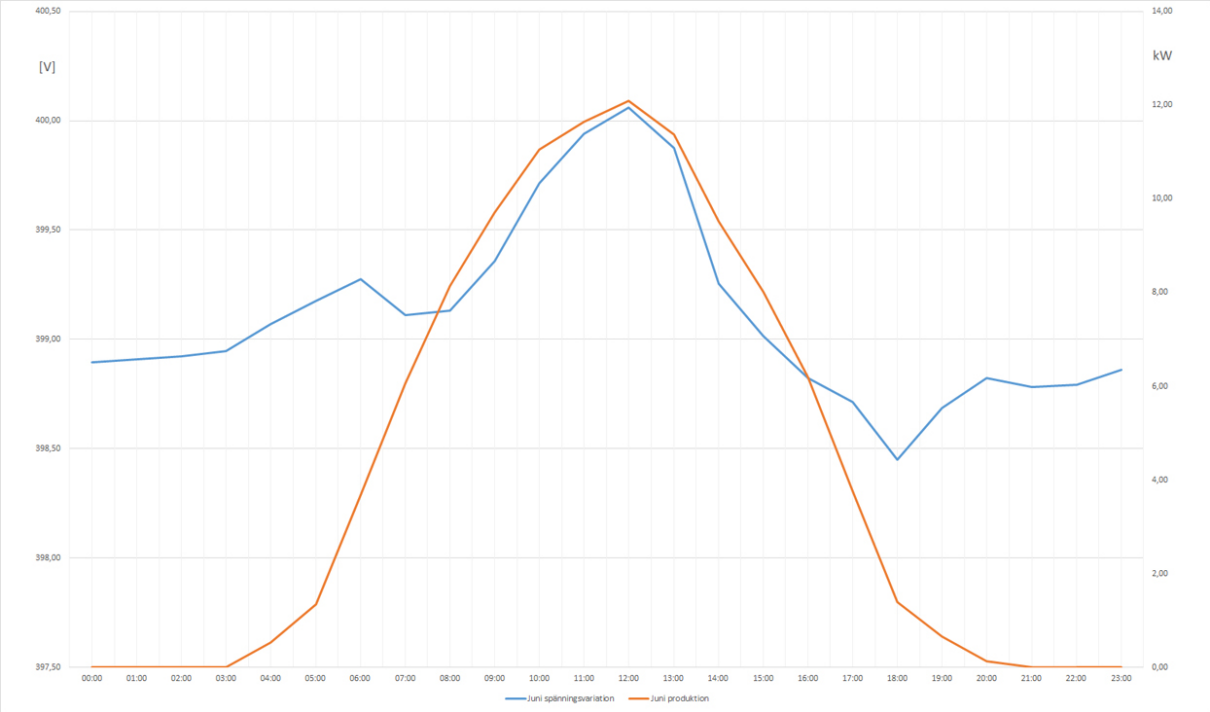
Figur 11. Flerbostadshus paneler dimensionerade mot öst och väst



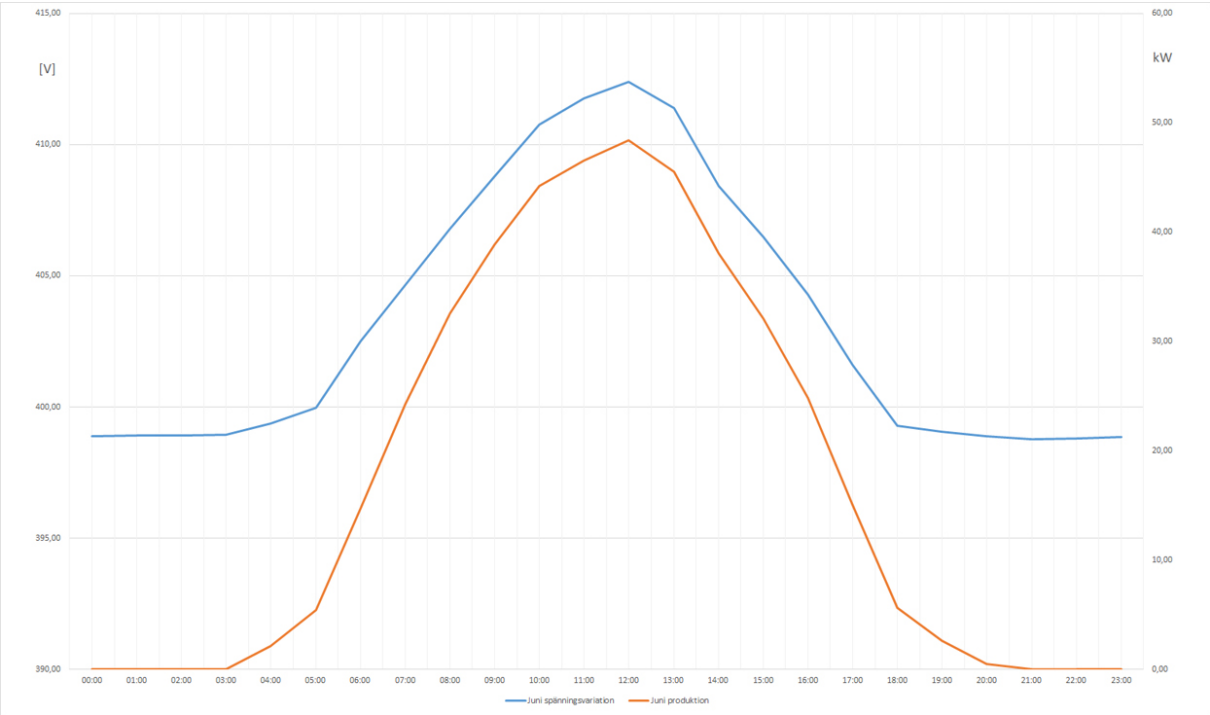
Figur 12. Syddimensionering, konsumtion, produktion och in-/utmatning till elnät

6.1.5 Spänningsvariationer

Från simulerings- och konsumtionsdatan på flerbostadshuset gjordes beräkningar gällande spänningsvariationer. Kabelimpedansen bestämdes till 143 mΩ och den nominella spänningen till 400 V. I figur 13 visas spänningsökningen med endast en anläggning i drift. Figur 14 visar en 4 gånger så stor anläggning men med samma egenkonsumtion.



Figur 13. Spänningsvariation och produktion från endast en solcellsanläggning



Figur 14. Spänningsvariation med 4 gånger högre produktion jämfört med figur 13

7 DISKUSSION

Ett av rapportens syften var att undersöka huruvida solcellsanläggningar påverkar det befintliga elnätet. Efter författarnas samtal med Tobias Andersson på Borås elnät, Henrik Rinnemo på Ellevio samt egna sökningar bland rapporter som finns tillgängliga om ämnet tycks solcellsanläggningar för tillfället inte ge upphov till problem i det svenska elnätet. Under intervjuerna diskuterades elkvalitet och att elnätsbolagen var medvetna om att solcellsanläggningarna potentiellt kunde bli ett problem i framtiden, speciellt vid de ställen där nätet är svagt.

7.1.1 Resultat

Jämförandet mellan olika typer av byggnader baserades på verkliga konsumtionsdata från 2019. Byggnaderna i de aktuella simuleringarna har i dagsläget ingen solcellsanläggning installerad vilket var ett krav från författarna. Hade fastigheten haft en befintlig solcellsanläggning hade det resulterat i att datan inte gått att använda som underlag för simuleringar eftersom elproduktionen från solinstrålningen påverkat konsumtionsdatan. Det beror på att byggnadens elkonsumtion dels kommer från elnätet och dels kommer ifrån solcellsanläggningen. Elnätsbolagets mätare som används för konsumtionsdata kommer enbart att mäta den ström som passerar. När solpanelernas produktion börjar användas blir den inköpta elen lägre och därav påverkas konsumtionsdatan.

7.1.1.1 Simuleringar

Syftet var att jämföra vilka byggnader som har störst ekonomisk vinning i att investera i solcellsanläggningar och vilka faktorer som påverkar lönsamheten. Valet av verksamheter har fallit på idrottshall, grundskola, förskola och hyreshus. Under rapportens gång har författarna kommit fram till att dimensionering bör ske efter juli månad i dessa verksamheter för att minimera andelen el som inte går till egenförbrukning och som istället går till försäljning. Paneler i söderläge kommer att ge mest produktion per installerad paneleffekt. Under simuleringarna har hänsyn inte tagits till byggnadens konstruktion utan panelerna har antagits kunna monteras i samtliga väderstreck och lutningar.

Idrottshallen blev dimensionerad efter juni månad med anledning av förhållandevis låg användning under sommarmånaderna. Valet av månad föll på juni istället för juli då skillnaden inte var betydande gällande elkonsumtionen de månaderna. Hade dimensionering gjorts efter juli månad hade produktionen överstigit konsumtionen i juni. En utmaning med att dimensionerna en solcellsanläggning för en idrottshall, likt den rapportförfattarna har tagit del av, är att den används under både dagtid och kvällstid. Det medför att solcellsanläggningen inte kan täcka upp den större andelen av effektbehovet. Simulering av panelorientering gjordes i väst-/östläge samt i söderläge. Söderläge gav mest effekt per installerad kW men väst-/östläge producerade el både tidigare och senare under dygnet men på bekostnad av en lägre verkningsgrad på panelerna.

Grundskolan dimensionerades efter juli månad då elkonsumtionen är betydligt lägre än övriga månader. Detta för att undvika att produktionen överstiger konsumtionen. I likhet med idrottshallen följer grundskolan samma trend med lägre elkonsumtion under sommarmånaderna. Resultatet blev en solcellsanläggning som inte motsvarade effektbehovet för de övriga månaderna. 25 kW var toppeffektsbehovet för grundskolan under juni medans toppeffektsbehovet i full drift var upp till 100 kW. De positiva aspekterna är att solcellsanläggningen kan anses vara

en större anläggning vilket talar för att priset per kW eventuellt kan bli lägre än en mindre anläggning. Det i sin tur förkortar återbetalningstiden. Den andra positiva aspekten är att överproduktion inte kommer att ske i någon större utsträckning.

Förskolan påvisade samma konsumtionsmönster som grundskolan men med skillnaden att elkonsumtionen nådde sin topp tidigare under dagen. Solcellsanläggningen blev även här dimensionerad efter juli månad där konsumtionen var betydligt lägre än övriga månader. Resultatet blev en liten anläggning på 18,9 kWp vilket ger minst andel såld el.

Flerbostadshusets konsumtion var förhållandevis konstant månadsvis med toppförbrukning vid sen eftermiddag. Innan insamlade konsumtionsdata antogs att konsumtionsvanan skulle ha höga konsumtionstoppar på morgon och kväll. Antagandet baseras på rapportförfattarnas egna konsumtionsvanor följer detta mönster.
Anläggningen dimensionerades efter juli som var månaden med minst konsumtion. Här gjordes simulering i söderläge vilket var solcellsanläggningen med högst verkningsgrad. Simuleringar gjordes även i väst, öst och öst/väst i ett försök att jämna till nettoeffekten. Simuleringen visade på att nettoeffekten jämnades till men på bekostnad av en dyrare och mindre effektiv solcellsanläggning.

7.1.1.2 Spänningsvariationer

Beräkningar gjordes på hur mycket effekt som behöver matas ut för att spänningen i en punkt i elnätet ska överstiga gränsvärdet på 3 %. Avgränsningar gjordes så att beräkningspunkten är den enda existerande punkt på den ledningen för att lättare påvisa spänningsvariationen.
Beräkningarna visade att det skulle krävas en fyra gånger större anläggning mot vad som dimensionerades till flerbostadshuset. Samtidigt skulle egenkonsumtionen förbli densamma för att passera gränsvärdet. Kabelimpedansen på kabel med area 150/88 mm^2 och med en längd av totalt 400 m beräknades till 143 mΩ i programmet EL-VIS.
I ett verkligt scenario hade en sådan spänningshöjning förmodligen aldrig skett då det finns andra laster på ledningen som sänker spänningen.

7.1.2 Metod

Rapporten och dess innehåll har till viss del baserats på telefonintervjuer. Rapportförfattarna intervjuade två personer som arbetar på olika elnätsbolag. Med hjälp av förskrivna frågeställningar utfördes intervjuerna där rapportförfattarna försökte få förståelse för hur solcellanläggningarna och dess växelriktare eventuellt påverkar elnätet. Här skulle fler intervjuer kunna göras för att få ytterligare bekräftelse på hur situationen ser ut. Eftersom svaren som rapportförfattarna fick överensstämde med varandra i de båda intervjuerna valde författarna att gå vidare med arbetets andra frågeställningar.

Simuleringar av olika solcellsanläggningar har gjorts i programmet PVSyst. I programmet kan inställningar göras gällande hur stor effekt panelen ska ha, vilken storlek växelriktaren ska ha, vilken geografisk plats panelerna ska simuleras på och åt vilket väderstreck panelerna ska riktas mot. Dimensioneringen av de olika solcellsanläggningarna har gjorts med avseende på den månad där egenförbrukningen var som lägst. Ett annat sätt att göra dimensioneringen kan vara att investera i en större solcellsanläggning till grundskolan vilket i sin tur kan leda till ett lägre pris per installerad kW.

I simuleringarna undersöktes lutningar mellan 0º och 50º för att bekräfta att en högre lutning ökar produktionen från solcellsanläggningen.

I beräkningarna av de gynnsamma förhållandena i LCOE-kalkylerna har antaganden gjorts gällande solcellsanläggningarnas kostnader. Antaganden är baserade på andra solcellsanläggningars upphandlingar av varierande storlekar. Priserna på solcellsanläggningarna kan antas variera både uppåt och nedåt.

De beräknade spänningsvariationer som har gjorts i rapporten bör tas med viss reservation eftersom de ej återspeglar de verkliga förhållandena utan är teoretiskt förenklade. För att uppnå ett mer korrekt värde på spänningsvariation bör varje timma av konsumtion och produktion jämföras. Istället förenklades beräkningarna genom att använda sig av medelvärdet för varje klockslag. Metoden påvisar spänningshöjningarna som uppkommer från solcellsanläggningars lokalproduktion i ett elnät. Hade en verklig del av ett lokalnät analyserats med samtliga impedanser, lasteffekter och produktion från en solcellsanläggning skulle troligtvis spänningshöjningen inte vara lika tydlig p.g.a. den utmatade effekten från solcellsanläggningen. Av den anledningen förenklades beräkningen och en betydligt noggrannare studie av spänningsvariation fick ej plats inom tidsramen för denna rapport.

8 SLUTSATS

Rapporten har undersökt problemen som eventuellt kan uppstå med det ökande antalet solcellsanläggningar som kopplas in på det befintliga elnätet. Efter intervjuer med personer som jobbar med sådana frågeställningar och efter egna beräkningar blev resultatet att negativa påverkan blir väldigt liten. I de egna beräkningarna av spänningsförändringar i elnätet skulle en väldigt stor och i princip orimlig produktion från solcellsanläggningarna samt en i stort sett obefintlig egenförbrukning krävas för att gränsvärdena skulle överskridas.

Denna studie har granskat ett fåtal verksamheter med hjälp av konsumtionsdata från 2019. Därefter har dimensioneringar gjorts med hjälp av ett simuleringsprogram. I en vidare utveckling av denna studie hade nästa steg varit att samla in data från befintliga solcellsanläggningar, gärna med flera års produktionsdata. Detta skulle bidra till en bredare och mer detaljerad bild av hur investeringens lönsamhet skulle komma att se ut.

Angående valet av att installera solcellsanläggningar eller ej blev slutsatsen att solcellsinvesteringar är mest fördelaktiga för en verksamhet som har jämn konsumtion under hela året. Detta för att det underlättar dimensioneringen av solcellsanläggningen. Vilket i sin tur leder till att installation av solcellsanläggningar är en långsiktig investering.

REFERENSER

Borås Elnät (u.å.). *Producera egen el.* http://boraselnat.se/privat/egenproduceradel/ [2020-03-30]

Cobben, J.F.G., (2016). *Power quality Problems and Solutions.* CO-Education, Arnhem: Netherlands.

EIFS (2013). *Energimarknadsinspektions författningssamling.* https://www.ei.se/Documents/Publikationer/foreskrifter/El/EIFS_2013_1.pdf [2020-03-30]

Energiforsk (2018). *Påverkan på nätet från stora mängder solkraft.* https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/25230/paverkan-pa-natet-fran-stora-mangder-solkraft-energiforskrapport-2018-539.pdf [2020-03-13]

Eneo (2018). *LCOE – Säkrare kostnadsprognos för solel.* https://eneosolutions.se/lcoe-sakrare-kostnadsprognos-for-solel/ [2020-04-27]

Energiföretagen (2018). *Elnätet – Distribution.* https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/elsystemet/distribution/ [2020-03-13]

Energiföretagens (2020). *Anslutning av elproduktion till lågspänningsnätet.* https://www.energiforetagen.se/forlag/elnat/anslutning-av-elproduktion-till-lagspanningsnatet-ALP/ [2020-04-09]

Energimyndigheten (2016). *Effekter i elsystemet från en ökad andel solel.* https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/solen-i-samhallet/effekter-i-elsystemet-fran-en-okad-andel-solel.pdf [2020-04-07]

Energimyndigheten (2019.a). *Olika typer av solceller.* http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/olika-typer-av-solceller/ [2020-03-31]

Energimyndigheten (2019.b.). *Bättre ekonomi med rätt anläggningsstorlek.* http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/hur-stor-anlaggning-passar-mig/battre-ekonomi-med-ratt-anlaggningsstorlek/ [2020-04-20]

Energimyndigheten (2019.c.). *Så undersöker du förutsättningarna för solel.* http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/ [2020-04-21]

Energimyndigheten (2019.d.). *Solelkalkylen.* http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vad-kostar-det/solelkalkyl/ [2020-04-27]

EON (2019). *Elnätet – hur funkar det egentligen?.* https://www.eon.se/artiklar/elnaetet-_-hur-fungerar-det.html [2020-03-13]

EON (2020). *Förnybar energi.* https://www.eon.se/privat/el/elavtal/fornybar.html [2020-03-11]

Göteborg Energi (u.å.). *Så funkar svenska elnätet.* https://www.goteborgenergi.se/om-oss/vad-vi-gor/vart-energisystem/sa-funkar-elnatet [2020-03-13]

Räddningstjänsten (2018). *Råd och anvisningar - Solcellsanläggningar* https://www.rtog.se/wp-content/uploads/2019/01/R%C3%A5d-och-anvisningar-Solcellsanl%C3%A4ggningar.pdf [2020-03-30]

Save by Solar (2018). *Hur fungerar solceller?* *https://savebysolar.se/hur-fungerar-solceller/* [2020-03-31]

Solcellskollen (u.å.). *Optimerare till solcellsanläggningen.* *https://www.solcellskollen.se/blogg/optimerare-till-solcellsanlaggningen-vi-reder-ut-vad-som-ar-bra-att-tanka-pa* [2020-03-31]

Svensk Elstandard (SEK) (2019). *Solceller Råd och regler för elinstallationen Handbok 457 Utgåva 1.* Digital utgåva.

Surajit, C., Madhuchhanda, M. & Samarjit, S. (2011). Electric Power Quality. Springer, Dordrecht: Netherlands

Svenska Kraftnät (2019). *Teknik.* https://www.svk.se/natutveckling/utbyggnadsprocessen/teknik/ [2020-03-13]

Svenska Kraftnät (u.å.). *Kontrollrummet.* https://www.svk.se/drift-av-transmissionsnatet/kontrollrummet/ [2020-03-13]

Svenskt Näringsliv (u.å.). *Högre elanvändning år 2045.* https://www.svensktnaringsliv.se/bilder_och_dokument/hogre-elanvandning-2045pdf_746597.html/BINARY/H%C3%B6gre%20elanv%C3%A4ndning%202045.pdf [2020-03-11]

Uniper (u.å.). *Reglerkraft – El i rätt tid och mängd.* https://www.uniper.energy/sverige/vattenkraft/reglerkraften [2020-03-13]

Vattenfall (u.å.a.). *Hur fungerar solceller?.* https://www.vattenfall.se/solceller/hur-fungerar-solceller/ [2020-03-11]

Vattenfall (u.å.b.). *El till din fastighet.* https://www.vattenfalleldistribution.se/globalassets/el-hem-till-dig/ny-anslutning/el-till-din-fastighet.pdf [2020-04-07]

BILAGA 1 LCOE-kalkyl idrottshall

Anläggning	Värde	Enhet
Välj användare (privatperson eller annan)	Annan	
Anläggningens effekt	17,3	kW
Modulyta	311	m^2
Säkringsstorlek i anslutningspunkten	100	A

Ekonomisk livslängd (N)	Värde	Enhet
Ekonomisk livslängd	30	år

Kalkylränta (R)	Värde	Enhet
Kalkylränta	2,5%	%

Investering	Värde	Enhet
Investeringskostnad solcellsanläggning, utan stöd eller ROT-avdra	12 000	kr/kW
Investeringsstöd	20%	%
Bygglov	0	kr
Projektledning och upphandling	0	kr
Besiktning efter färdigställande	0	kr
Utbildning	0	kr

Summa investering under livslängden	Värde	Enhet
Utan ROT-avdrag eller investeringsstöd	13 381	kr/kW
Med ROT-avdrag	12 301	kr/kW
Med investeringsstöd	10 981	kr/kW

Driftkostnad	Värde	Enhet
Årlig **fast** driftkostnad som inte beror på anläggningens storlek	960	kr/år
Årlig **rörlig** driftkostnad som beror på anläggningens storlek	866	kr/år
Summa årliga kostnader	105	kr/kW,år

Energiutbyte	Värde	Enhet
Energiutbyte första året	873	kWh/kW,år
Summa solelproduktion under livslängden	384 103	kWh
Summa solelproduktion berättigad till elcertifikat	208 945	kWh

Intäkter	Värde	Enhet
Värden anges som uppskattat medel av nuvärden under anläggningens livslängd. En svårighet är att uppskatta värdena under så lång tid framåt som solcellssystemets livslängd.		
Andel egenanvänd el	93%	%
Pris köpt el	1,10	kr/kWh
Pris såld el	0,45	kr/kWh
Ersättning från nätägare	0,04	kr/kWh
Elcertifikatvärde	0,01	kr/kWh
Andel solel som ger elcertifikat	100%	%
Kvotplikt medelvärde	23%	%
Ursprungsgarantier värde	0,005	kr/kWh
Antal år med skattereduktion	0	år
Internränta (IRR)	5,5%	%

Nuvärde endast egenanvändning + såld el	56 931 kr

BILAGA 2 Simuleringsdata idrottshall söderläge samt öst/västläge

PVSYST V6.86	Idrottshall söderläge	21/04/20	Page 3/6

Grid-Connected System: Main results

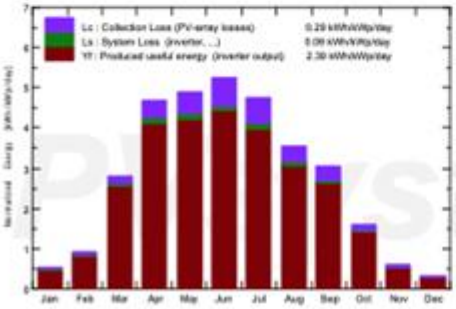
Project :

Simulation variant :

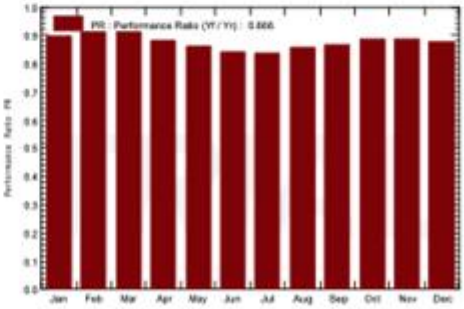
Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	PS315M-24/T	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	55	Pnom total	**17.32 kWp**
Inverter	Model	Theia 19000 TL	Pnom	16.50 kW ac
User's needs	daily profile	Monthly normalizations	Global	125 MWh/year

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**15.13 MWh/year**	Specific prod.	873 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.58 %	Solar Fraction SF	12.07 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 17.32 kWp



Performance Ratio PR



Fristadhallen Simu 3

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	8.9	6.36	-0.61	16.7	16.1	0.274	13.11	0.261	0.000	12.85
February	18.2	13.45	-0.94	25.9	25.0	0.427	11.28	0.409	0.000	10.87
March	62.5	33.41	1.00	87.6	84.8	1.424	8.19	1.379	0.002	6.81
April	113.5	50.81	6.46	140.4	136.0	2.209	8.14	2.138	0.007	6.00
May	144.3	79.98	11.17	151.9	146.7	2.336	9.71	2.269	0.000	7.44
June	153.4	75.16	14.07	157.4	152.1	2.370	7.90	2.285	0.015	5.62
July	145.0	76.22	16.67	147.8	142.6	2.209	7.94	2.126	0.018	5.82
August	102.7	69.13	16.02	110.6	106.8	1.691	10.57	1.642	0.000	8.93
September	71.2	39.48	12.02	91.5	88.2	1.414	11.28	1.372	0.000	9.91
October	34.2	22.36	7.49	50.1	48.4	0.794	12.26	0.768	0.000	11.49
November	10.8	8.36	3.62	18.1	17.4	0.292	12.49	0.277	0.000	12.21
December	5.9	4.91	0.57	10.4	10.0	0.168	12.10	0.157	0.000	11.94
Year	870.7	479.63	7.34	1008.4	974.1	15.607	124.98	15.083	0.043	109.89

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_User	Energy supplied to the user
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Solar	Energy from the sun
		E_Grid	Energy injected into grid
		EFrGrid	Energy from the grid

PVsyst Evaluation mode

Grid-Connected System: Main results

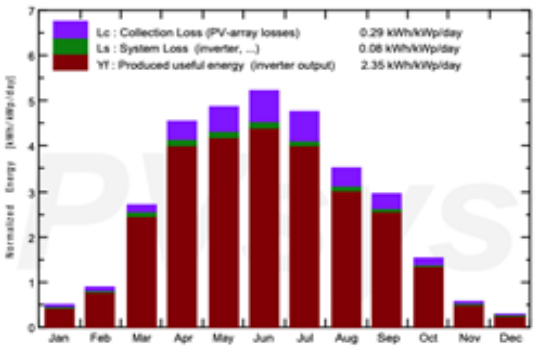
Project :

Simulation variant :

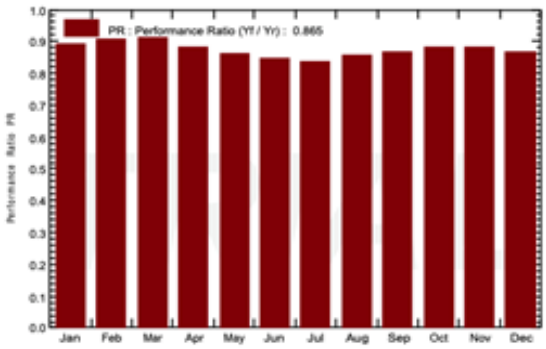
Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	2 orientations	Tilt/Azimuth = 30°/30° and 30°/-30°		
PV modules	Model	PS315M-24/T	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	55	Pnom total	**17.32 kWp**
Inverter	Model	Theia 19000 TL	Pnom	16.50 kW ac
User's needs	daily profile	Monthly normalizations	Global	125 MWh/year

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**14.84 MWh/year**	Specific prod.	857 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.52 %	Solar Fraction SF	11.86 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 17.32 kWp



Performance Ratio PR



Idrottshall

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	8.9	6.36	-0.61	15.6	15.0	0.255	13.11	0.241	0.000	12.87
February	18.2	13.45	-0.94	24.8	23.9	0.407	11.28	0.390	0.000	10.89
March	62.5	33.41	1.00	84.1	81.3	1.367	8.19	1.325	0.000	6.87
April	113.5	50.81	6.46	136.6	132.4	2.152	8.14	2.089	0.000	6.05
May	144.3	79.98	11.17	151.0	146.0	2.325	9.71	2.257	0.000	7.45
June	153.4	75.16	14.07	156.5	151.4	2.359	7.90	2.282	0.006	5.62
July	145.0	76.22	16.67	147.9	142.8	2.214	7.94	2.141	0.007	5.80
August	102.7	69.13	16.02	109.5	105.8	1.676	10.57	1.627	0.000	8.94
September	71.2	39.48	12.02	88.9	85.8	1.375	11.28	1.333	0.000	9.94
October	34.2	22.36	7.49	47.9	46.1	0.757	12.26	0.732	0.000	11.53
November	10.8	8.36	3.62	17.1	16.4	0.276	12.49	0.261	0.000	12.23
December	5.9	4.91	0.57	9.8	9.4	0.157	12.10	0.147	0.000	11.95
Year	870.7	479.63	7.34	990.0	956.2	15.321	124.98	14.826	0.013	110.15

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_User	Energy supplied to the user
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Solar	Energy from the sun
		E_Grid	Energy injected into grid
		EFrGrid	Energy from the grid

PVsyst Evaluation mode

BILAGA 3 Simuleringsdata grundskola söderläge samt östläge

PVSYST V6.86	Grundskola söderläge	29/04/20	Page 3/6

Grid-Connected System: Main results

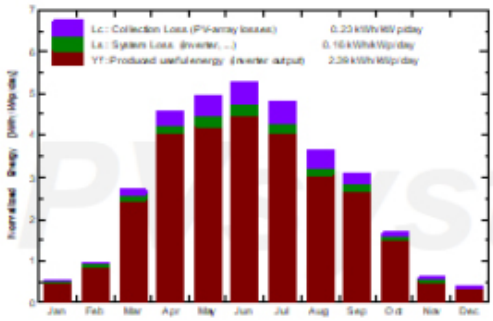
Project :

Simulation variant :

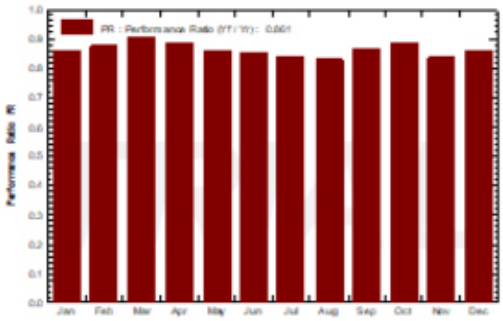
Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-6°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	160	Pnom total	**50.4 kWp**
Inverter	Model	SUNWAY TG 57 - 800V	Pnom	43.6 kW ac
User's needs	daily profile	Constant over the year	Global	701 MWh/year

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**44.06 MWh/year**	Specific prod.	874 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.14 %	Solar Fraction SF	6.29 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 50.4 kWp



Performance Ratio PR



Skola

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	8.9	6.10	-0.62	17.4	17.0	0.847	59.52	0.756	0.000	58.76
February	18.7	13.77	-0.96	27.3	26.6	1.335	53.76	1.206	0.000	52.55
March	62.4	35.89	0.99	84.3	82.3	4.081	59.52	3.843	0.000	55.68
April	112.9	57.95	6.44	136.8	133.7	6.440	57.60	6.101	0.000	51.50
May	143.4	75.65	11.06	152.4	148.5	7.007	59.52	6.621	0.000	52.90
June	155.2	87.59	14.07	158.6	154.4	7.185	57.60	6.789	0.000	50.81
July	145.8	78.01	16.57	149.2	145.3	6.701	59.52	6.316	0.000	53.20
August	102.6	55.89	16.02	113.1	110.4	5.070	59.52	4.751	0.000	54.77
September	72.0	39.61	11.92	93.0	90.6	4.308	57.60	4.055	0.000	53.55
October	35.6	24.49	7.39	52.2	50.9	2.500	59.52	2.328	0.000	57.19
November	11.4	8.75	3.53	18.4	17.9	0.878	57.60	0.773	0.000	56.83
December	5.9	4.43	0.46	12.0	11.7	0.583	59.52	0.518	0.000	59.00
Year	874.9	488.13	7.29	1014.7	989.5	46.936	700.80	44.056	0.000	656.74

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_User	Energy supplied to the user
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Solar	Energy from the sun
		E_Grid	Energy injected into grid
		EFrGrid	Energy from the grid

PVsyst Evaluation mode

Grid-Connected System: Main results

Project :

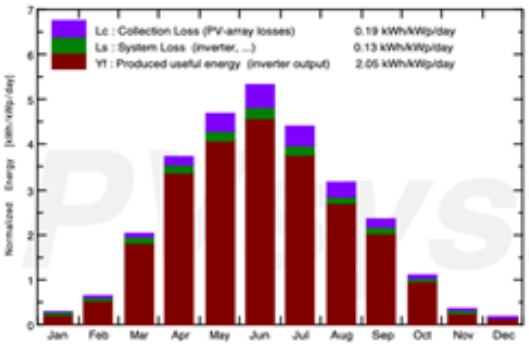
Simulation variant :

Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-80°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	187	Pnom total	**58.9 kWp**
Inverter	Model	APV 55k-T-CEI	Pnom	49.5 kW ac
User's needs	daily profile	Constant over the year	Global	701 MWh/year

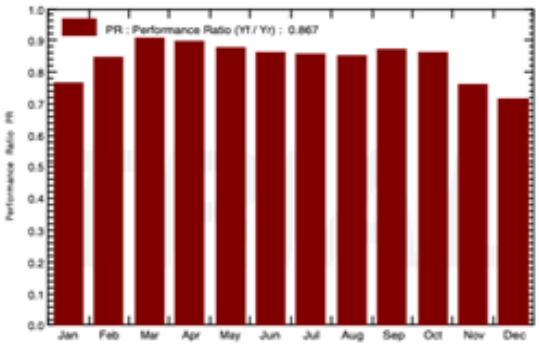
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**44.11 MWh/year**	Specific prod.	749 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.72 %	Solar Fraction SF	6.29 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 58.9 kWp



Performance Ratio PR



Skola

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	8.9	6.10	-0.62	9.7	9.1	0.515	59.52	0.436	0.000	59.08
February	18.7	13.77	-0.96	18.2	17.5	1.020	53.76	0.907	0.000	52.85
March	62.4	35.89	0.99	62.5	60.5	3.551	59.52	3.342	0.000	56.18
April	112.9	57.95	6.44	112.2	109.2	6.248	57.60	5.938	0.000	51.66
May	143.4	75.65	11.06	144.7	141.3	7.861	59.52	7.470	0.000	52.05
June	155.2	87.59	14.07	159.3	155.7	8.518	57.60	8.103	0.000	49.50
July	145.8	78.01	16.57	136.5	133.0	7.254	59.52	6.876	0.000	52.64
August	102.6	55.89	16.02	98.3	95.8	5.218	59.52	4.919	0.000	54.60
September	72.0	39.61	11.92	70.5	68.4	3.843	57.60	3.617	0.000	53.98
October	35.6	24.49	7.39	34.7	33.4	1.916	59.52	1.765	0.000	57.76
November	11.4	8.75	3.53	10.8	10.2	0.572	57.60	0.482	0.000	57.12
December	5.9	4.43	0.46	6.1	5.7	0.316	59.52	0.257	0.000	59.26
Year	874.9	488.13	7.29	863.5	839.7	46.833	700.80	44.112	0.000	656.69

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_User	Energy supplied to the user
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Solar	Energy from the sun
		E_Grid	Energy injected into grid
		EFrGrid	Energy from the grid

PVsyst Evaluation mode

BILAGA 4 Simuleringsdata förskola söderläge samt östläge

PVSYST V6.86	Förskola söderläge	04/05/20	Page 2/4

Grid-Connected System: Main results

Project :

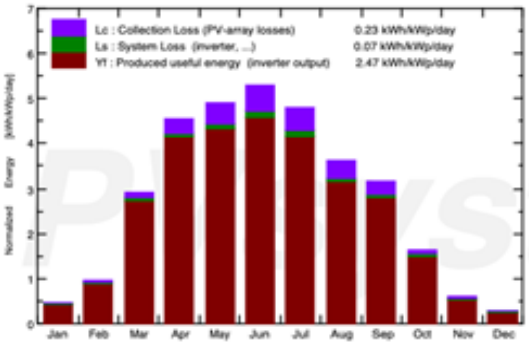
Simulation variant :

Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-6°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	60	Pnom total	**18.90 kWp**
Inverter	Model	Anybuild BNT017KTL	Pnom	17.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

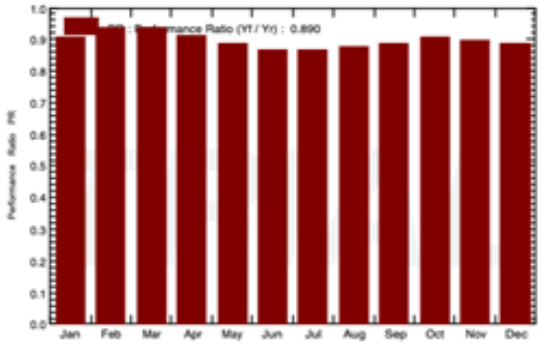
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**17.06 MWh/year**	Specific prod.	903 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	88.99 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 18.90 kWp



Performance Ratio PR



Förskola

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	8.9	7.13	-0.61	15.0	14.7	0.273	0.258	0.909
February	18.8	14.53	-0.85	27.0	26.3	0.498	0.478	0.938
March	63.2	31.28	0.99	90.4	88.3	1.644	1.601	0.936
April	112.6	55.43	6.44	136.0	132.9	2.405	2.346	0.912
May	143.1	69.80	11.06	152.0	148.4	2.609	2.542	0.885
June	154.6	73.67	14.06	158.8	154.8	2.674	2.604	0.868
July	144.9	79.99	16.66	149.0	145.1	2.508	2.442	0.867
August	103.0	63.94	16.03	111.9	109.1	1.900	1.848	0.874
September	72.2	37.77	12.02	94.8	92.4	1.633	1.588	0.886
October	34.9	21.59	7.47	51.4	50.2	0.912	0.882	0.909
November	10.8	7.55	3.62	18.2	17.7	0.325	0.308	0.896
December	6.0	5.11	0.64	9.7	9.4	0.174	0.162	0.884
Year	873.0	467.81	7.34	1014.3	989.4	17.554	17.060	0.890

Legends:				
	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T_Amb	T amb.	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

PVsyst Evaluation mode

Grid-Connected System: Main results

Project :

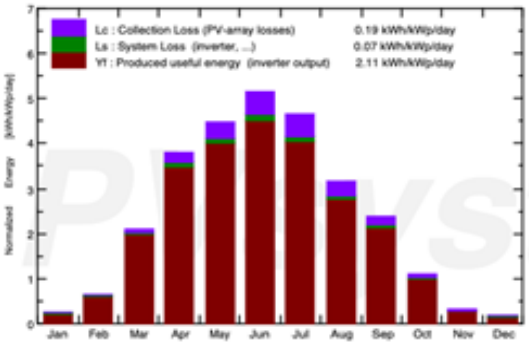
Simulation variant :

Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-80°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	64	Pnom total	**20.16 kWp**
Inverter	Model	Theia 19000 TL	Pnom	16.50 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

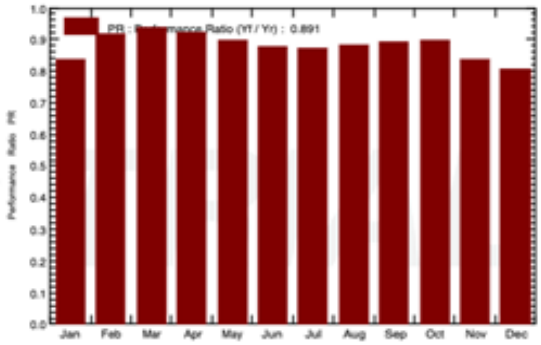
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**15.52 MWh/year**	Specific prod.	770 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	89.11 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 20.16 kWp



Performance Ratio PR



Förskola

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	8.9	7.13	-0.61	8.7	8.2	0.158	0.146	0.837
February	18.8	14.53	-0.85	18.6	17.9	0.359	0.344	0.915
March	63.2	31.28	0.99	65.5	63.5	1.276	1.239	0.938
April	112.6	55.43	6.44	114.1	111.0	2.177	2.115	0.920
May	143.1	69.80	11.06	138.4	135.1	2.572	2.497	0.895
June	154.6	73.67	14.06	154.2	150.7	2.804	2.721	0.875
July	144.9	79.99	16.66	143.6	140.1	2.600	2.525	0.872
August	103.0	63.94	16.03	97.6	95.0	1.788	1.737	0.882
September	72.2	37.77	12.02	72.0	69.8	1.336	1.297	0.893
October	34.9	21.59	7.47	34.5	33.1	0.646	0.624	0.898
November	10.8	7.55	3.62	10.3	9.8	0.187	0.174	0.837
December	6.0	5.11	0.64	6.2	5.9	0.111	0.101	0.803
Year	873.0	467.81	7.34	863.8	840.1	16.014	15.519	0.891

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

PVsyst Evaluation mode

BILAGA 5 Simuleringsdata flerbostadshus söderläge, östläge, västläge

PVSYST V6.86	Flerbostadshus söderläge	05/05/20	Page 2/4

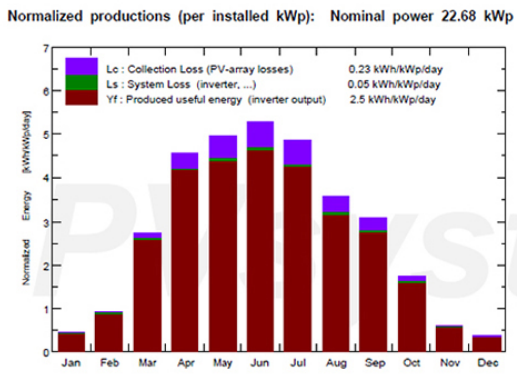
Grid-Connected System: Main results

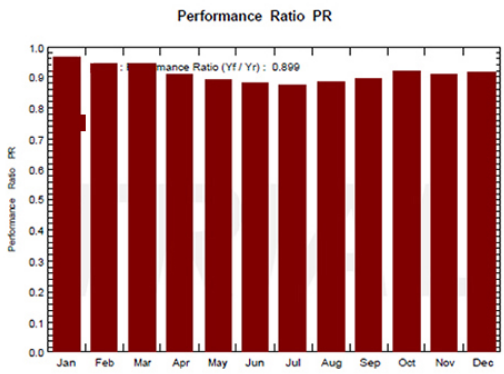
Project :

Simulation variant :

Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-6°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	72	Pnom total	**22.68 kWp**
Inverter	Model	SE-TH 20.0 TL3	Pnom	20.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**20.71 MWh/year**	Specific prod.	913 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	89.89 %		





Flerbostadshus

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	8.9	7.10	-0.51	15.2	14.8	0.331	0.318	0.923
February	18.7	14.52	-0.85	26.6	25.9	0.588	0.572	0.949
March	62.3	35.36	1.09	84.9	82.8	1.854	1.821	0.945
April	112.7	54.47	6.54	137.0	133.9	2.886	2.840	0.914
May	143.4	70.93	11.16	153.5	149.7	3.154	3.102	0.891
June	155.0	76.33	14.16	158.4	154.4	3.213	3.160	0.880
July	145.8	80.19	16.67	151.1	147.2	3.049	2.998	0.875
August	102.6	66.55	16.12	110.7	108.0	2.267	2.228	0.887
September	72.0	39.10	12.12	92.7	90.4	1.919	1.884	0.897
October	35.1	20.69	7.58	54.4	53.1	1.160	1.136	0.920
November	10.9	7.78	3.72	19.0	18.5	0.409	0.393	0.913
December	5.9	4.27	0.61	12.5	12.2	0.272	0.260	0.917
Year	873.4	477.28	7.42	1015.9	991.0	21.102	20.711	0.899

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

PVSYST V6.86	Flerbostadshus västläge	05/05/20	Page 2/4

Grid-Connected System: Main results

Project :

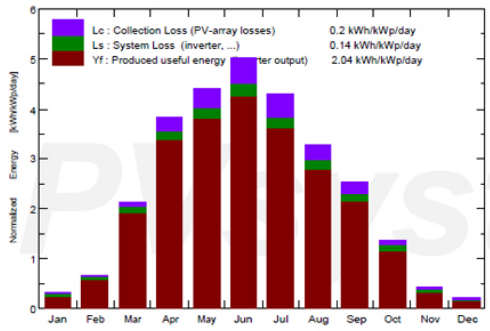
Simulation variant :

Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	80°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	102	Pnom total	**32.1 kWp**
Inverter	Model	SUNWAY TG 35 - 800V	Pnom	27.10 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

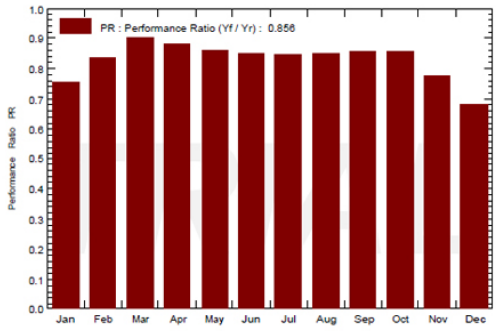
Main simulation results

System Production	**Produced Energy**	**23.97 MWh/year**	Specific prod.	746 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	85.65 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 32.1 kWp



Performance Ratio PR



Flerbostadshus

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	8.9	7.10	-0.51	10.8	10.3	0.321	0.263	0.757
February	18.7	14.52	-0.85	19.4	18.6	0.594	0.520	0.836
March	62.3	35.36	1.09	65.8	63.8	2.035	1.902	0.900
April	112.7	54.47	6.54	114.8	111.8	3.445	3.256	0.883
May	143.4	70.93	11.16	136.4	132.9	4.002	3.775	0.862
June	155.0	76.33	14.16	150.1	146.6	4.349	4.106	0.851
July	145.8	80.19	16.67	132.8	129.2	3.825	3.602	0.844
August	102.6	66.55	16.12	101.7	99.0	2.965	2.784	0.852
September	72.0	39.10	12.12	76.3	74.2	2.248	2.101	0.857
October	35.1	20.69	7.58	42.4	41.0	1.271	1.166	0.857
November	10.9	7.78	3.72	13.4	12.8	0.397	0.334	0.774
December	5.9	4.27	0.61	7.1	6.7	0.203	0.155	0.680
Year	873.4	477.28	7.42	870.9	846.9	25.654	23.966	0.856

Legends:				
	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T_Amb	T amb.	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

Grid-Connected System: Main results

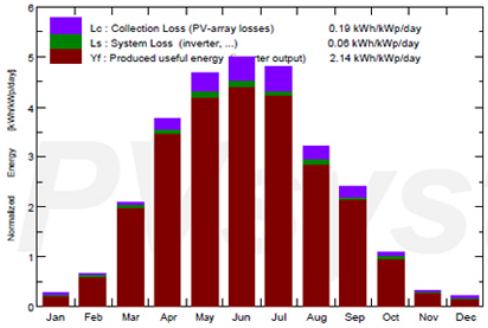
Project :

Simulation variant :

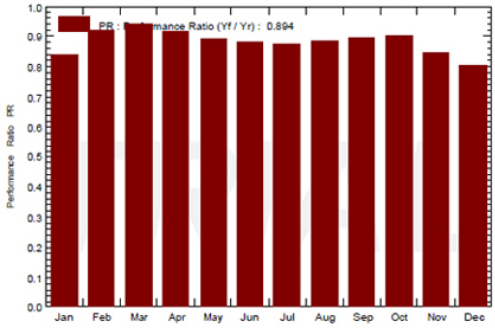
Main system parameters	System type	**No 3D scene defined, no shadings**		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	-80°
PV modules	Model	CS6U - 315P	Pnom	315 Wp
PV Array	Nb. of modules	72	Pnom total	**22.68 kWp**
Inverter	Model	Theia 22000 TL	Pnom	18.90 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**17.74 MWh/year**	Specific prod.	782 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	89.41 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 22.68 kWp



Performance Ratio PR



Flerbostadshus

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	8.9	7.10	-0.51	8.7	8.2	0.177	0.166	0.843
February	18.7	14.52	-0.85	19.1	18.4	0.414	0.399	0.922
March	62.3	35.36	1.09	65.1	63.1	1.429	1.392	0.943
April	112.7	54.47	6.54	113.5	110.5	2.421	2.358	0.916
May	143.4	70.93	11.16	145.4	142.1	3.027	2.948	0.894
June	155.0	76.33	14.16	149.7	146.2	3.079	2.999	0.883
July	145.8	80.19	16.67	149.2	145.8	3.041	2.962	0.875
August	102.6	66.55	16.12	100.1	97.5	2.070	2.017	0.888
September	72.0	39.10	12.12	71.9	69.7	1.504	1.464	0.898
October	35.1	20.69	7.58	34.4	33.0	0.725	0.703	0.900
November	10.9	7.78	3.72	10.7	10.1	0.219	0.206	0.846
December	5.9	4.27	0.61	6.7	6.3	0.135	0.123	0.806
Year	873.4	477.28	7.42	874.6	851.0	18.240	17.736	0.894

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

PVsyst TRIAL

HÖGSKOLAN
I BORÅS

Besöksadress: Allégatan 1 · Postadress: 501 90 Borås · Tfn: 033-435 40 00 · E-post: registrator@hb.se · Webb: www.hb.se