



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Behovsstyrd belysning med lokal elproduktion

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroteknik

FILIP ALRUP
WILLIAM HIDEVIK

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024

EXAMENSARBETE 2024

Behovsstyrd belysning med lokal elproduktion

FILIP ALRUP
WILLIAM HIDEVIK



CHALMERS

Institutionen för elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024

Behovsstyrd belysning med lokal elproduktion

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroteknik

FILIP ALRUP

WILLIAM HIDEVIK

© Filip Alrup, 2024

© William Hidevik, 2024

Examensarbetet skrivs i samarbete mellan Chalmers tekniska högskola och Trafikverket

Kontaktperson: Henrik Gidlund, Trafikverket

Handledare: Thomas Hammarström, Institutionen för elektroteknik, Chalmers tekniska högskola

Examinator: Thomas Hammarström, Institutionen för elektroteknik, Chalmers tekniska högskola

Institutionen för elektroteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon: +46- (0)31 772 1000

Förord

Examensarbetet utfördes av två högskoleingenjörer inom Elektroteknik på Chalmers tekniska högskola. Arbetet genomfördes i ett samarbete mellan Chalmers och Trafikverket under våren 2024, och omfattar 15 högskolepoäng för vardera student. Projektet riktar sig mot Elkraftsteknik genom moment som analysering av energitillgångar, datahantering, simuleringar samt lösningsmodeller i form av reglerad styrning.

Vi vill framför allt tacka vår handledare och examinator Thomas Hammarström för allt stöd och råd han gett oss under våren. Vi vill även tacka Henrik Gidlund, vår kontaktperson på Trafikverket, för att vi fick göra arbetet hos dem samt de lärdomar vi fått av honom. Ytterligare vill vi tacka Rikard Henning, vår kontaktperson på Selux, för hans trevliga bemötande och tålamod kring våra frågor om deras produkt.

Sammanfattning

Trafikverket vill undersöka möjligheterna att installera solcellsdrivna gatulampor i Stockholms skärgård. Gatulamporna är tänkta att vara behovsstyrda, då de ska vara aktiva vid rörelse av båtar eller människor vid bryggorna. Trafikverket har varit i kontakt med ett företag, vid namn Selux, om deras modell F8 Valetta M skulle vara passande för ändamålet. Arbetet har utifrån simuleringar kunnat dra slutsatser och föra en diskussion om Selux lyktstolpe och hur väl den skulle potentiellt kunna möta de satta kraven.

Denna rapport har utifrån en djupgående teori skapat en förståelse i de väsentliga beståndsdelarna för en gatulampa driven av en solcellsmodul. Utifrån nedladdad data, för solstrålning samt utsatta tider som lampan bör vara aktiv, har arbetet kunnat skapa ett Matlabprogram som jämför produktionen mot konsumtionen för varje timma under ett helt år. Utifrån simuleringarna kan arbetet visa samt förklara hur Selux modell skulle potentiellt kunna variera under åren 2016–2020.

Utifrån simuleringarna kunde slutsatsen dras att för åren 2016–2019 krävs det dubbelkapacitet, det vill säga två batteripack, för att kunna möta de kraven från Trafikverket. År 2020 å andra sidan kan anses som ett extremfall, och utifrån vidare simuleringar kan det visas att kraven möts först vid trippelkapacitet och dubbelt så stor area för solpanelen. Utifrån resultaten drogs slutsatsen att implementering av ett tredje batteripack samt utökad area på solpanelen är lämpligt för att kunna möta kraven för alla år.

Abstract

Trafikverket wants to examine the possibilities of installing solar powered streetlamps in Stockholms archipelago. The streetlights are designed to be demand-driven, meaning they will be fully activated when movement is detected by people or by ships trying to dock. Trafikverket has been in contact with Selux about their streetlamp model F8 Valetta M and whether it would be suited for the task. This paper has, based on simulation of the streetlamp, drawn conclusions and discussed how well the streetlamp model is able to meet the requirements set by Trafikverket.

This paper has, based on extensive research, created a framework to understand the essential parts that make up the streetlamp which is powered by a solar cell module. Simulations were based on downloaded data regarding the solar radiation at the specified location where the streetlamp will be installed and the times of day when it will be active. The simulations show how the streetlamps performance throughout the year for the years 2016-2020.

Based on the simulations the conclusion is drawn that to meet the requirements set by Trafikverket for the years 2016-2019 the capacity for the battery pack of the F8 Valetta M needs to be doubled. To meet the requirement during 2020, which is an extreme case, the battery capacity needs to be tripled and the area of the solar module needs to be doubled to meet the requirements set by Trafikverket for 2020 and all other years.

Innehållsförteckning

Förkortningar	4
1 Introduktion	5
1.1 Bakgrund.....	5
1.2 Syfte.....	5
1.3 Avgränsningar	5
1.4 Specificering av frågeställning	5
2 Teori	7
2.1 Solcellen	7
2.1.1 Solcellens funktion	7
2.1.2 Mono- och polykristallinceller	8
2.1.3 Strålning på solcell	9
2.1.4 Kretsschema över solcell.....	9
2.2 Batteri	10
2.2.1 Nickelmetallhydrid och litumbatterier	10
2.2.2 Jämförelse mellan Li-ion och NimH	11
2.2.3 Livslängd	11
2.2.4 State Of Charge (SOC).....	12
2.3 Laddregulatorer	13
2.3.1 PWM regulator	13
2.3.2 MPPT regulator.....	13
2.3.3 Jämförelse mellan PWM- och MPPT regulator	14
2.4 Styrsystem i off-grid	14
2.4.1 Kommunikering mellan parter	14
2.4.2 Kontrollprocess.....	14
2.4.3 PIR-sensor	14
2.5 Belysningsteknik	15
2.5.1 Mätbara värden	15
2.5.2 LED	15
3 Metod	16
3.1 Arbetsgång	16
3.2 Bedömningskriterier.....	16
3.3 Jämförelse mellan simuleringar för F8 Valetta M	16
4 Genomförande	17

4.1 Selux lyktstolpe	17
4.2 Datainsamling	18
4.2.1 Nedladdning av data för solstrålning.....	18
4.2.2 Tidtabeller för beräknad konsumtionstid.....	19
4.3 MATLAB	19
4.3.1 Solpanel	19
4.3.2 Batteri.....	20
4.3.3 Reglersystem	20
5 Resultat	22
5.1 Simuleringar	22
5.1.1 Normen	22
5.1.2 Extremfall.....	23
5.2 Ökad kapacitet	24
5.2.1 Dubbelkapacitet för år 2019.....	24
5.2.2 Dubbelkapacitet för år 2020.....	25
5.2.3 Trippelkapacitet för år 2020.....	26
5.3 Ökad solpanelsarea	27
6 Diskussion	28
7 Besvarande av frågeställningar och förbättringsmöjligheter	30
Referenslista	32
Bilagor	36
Bilaga A – Grafer från simuleringar	36
A1 – Enkel kapacitet	36
A2 – Dubbel kapacitet.....	39
A3 – Trippel kapacitet.....	42
Bilaga B – Matlab kod	45
Bilaga C – Tidtabeller för Årsta brygga	51

Förkortningar

SOC – State of Charge, beskriver batteriets aktiva energinivå.

MPPT – Maximum Power Point Tracking, en solcellsregulator som används för att producera maximal effekt.

PWM – Pulse Width Modulation, en solcellsregulator som styrs av en reglerad pulslängd.

NimH – NickelmetallHydrid, typ av batteri.

NiOH – Nickeloxidhydrid, katoden i NimH batteriet.

NH – Nickelhydrid, anoden i NimH batteriet.

PIR-sensor – Passive Infrared sensor, en rörelsedetektor som mäter infrarött ljus.

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System, Europakommissionens mätverktyg för solstrålning vid specifika geografiska punkter.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

I Stockholms skärgård önskar Trafikverket sätta solcellsdrivna gatulampor som är självförsörjande och inte kopplade till det lokala elnätet, även kallat off-grid. I och med att lamporna främst ska användas vid båttrafik och när det är rörelse vid bryggorna så vill de att man ska kunna reglera lampan utifrån trafiken och rådande tidtabeller för skärgårdsbåtarna.

Trafikverket har även varit i kontakt med en leverantör av lyktstolpar, vid namn Selux, som har en framtagen produkt redo att användas. Deras produkt har under arbetsgången monterats för att testa kapaciteten i Stockholmsmiljön där den sätts i gång av en rörelsedetektor utanför ett kontorsområde. Examensarbetet ska då med sin egen data och simuleringar utvärdera Selux produkten för att kunna göra en bedömning om den uppfyller de satta syftet.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att genom data, simuleringar samt reglering kunna avgöra om det är möjligt för Trafikverket att ha solcellsdrivna gatulampor som fungerar året om vid Stockholms skärgård. Ytterligare ska det jämföras med modellen F8 Valetta M från Selux och se om den kan producera samt lagra tillräckligt med elektrisk energi för att klara det årliga behovet.

1.3 Avgränsningar

I och med att examensarbetet främst bearbetar data och information genom simuleringar innebär det att vissa avgränsningar är nödvändiga. Följande avgränsningar har gjorts:

- Simuleringarna tar ej hänsyn till smuts, snö och liknande som kan störa solcellspanelen från att producera. I verkligheten är detta något som annars har en betydelse till den årliga produktionen av solcellspanelen.
- I simuleringarna används solcellens effektivitet som är framtagen ur mätdata från Selux lyktstolpe. För mer exakta simuleringar skulle specifika parametrar från modulen behöva användas.
- Simuleringarna tar inte hänsyn till rörelsedetektorn på lyktstolpen. Konsumtionen baseras enbart av tidtabellen för Årsta brygga.
- I och med att lyktstolpen är utrustad med teknik som vinkelanpassar utifrån förhållande, så kommer simuleringarna inte ta hänsyn till olika vinklar.
- Arbetet kommer inte att jämföra med andra modeller än Selux F8 Valetta M.

1.4 Specificering av frågeställning

Målet är att genom datainsamling från tidtabeller och möjlig soleffekt vid skärgården skapa ett Matlab skript som simulerar lyktstolpens batterikapacitet under ett helt år. Lyktstolpen ska kunna vara självförsörjande och möta sitt egna behov genom dels energiproduktionen från solcellen samt energilagring i form av batteri.

Arbetets frågeställningar är följande:

- Kan solcellslampan producera samt lagra tillräckligt med energi för att möta sitt behov året om?
- Hur ska ett lämpligt regleringssystem se ut för att kunna göra detta möjligt?
- Kan Selux modell F8 Valetta M möta behovet eller behövs dess design kompletteras? Vad bör i så fall kompletteras?
- Kan batteriets kapacitet hålla sig över 80% på vår- och sommartid, och över 70% under höst- och vintertid?

2 Teori

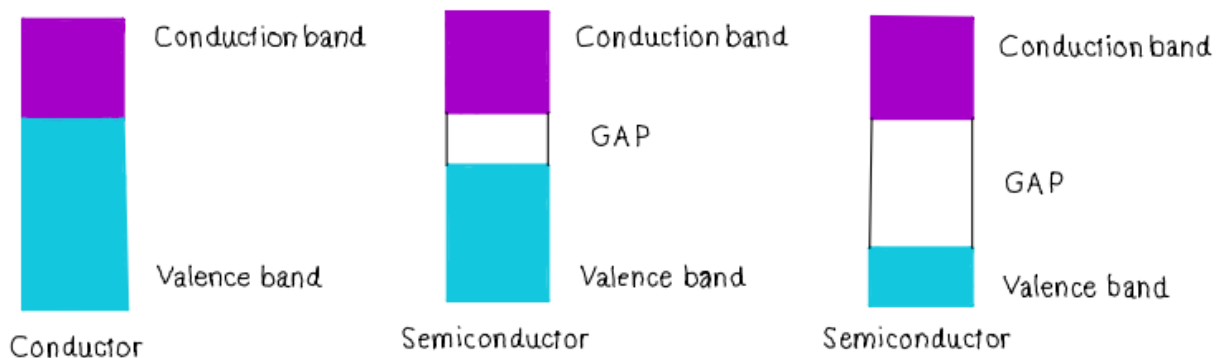
Kapitlet beskriver teori utifrån olika delar som kommer vara behövliga för arbetets grund och förståelse. Kapitlet täcker områden om solceller, batterier, laddregulatorer, styrsystem samt belysningsteknik.

2.1 Solcellen

Forskningen inom solceller går alltmer framåt, vilket leder till att det finns flera variationer för olika ändamål. Den första generationen beskrivs vara den äldsta men även den mest populära solcellstekniken. Den höga populariteten av just den första generationen beskrivs främst vara för att den generellt har högst effektivitet jämfört med de andra tekniker. Den andra generationen är tunnfilmssolpaneler vilket generellt kan anses vara det mer ekonomiska valet i jämförelse till de andra. Det beskrivs även finnas en tredje generations solceller men som ännu fortfarande är i ett forskningsstadium [1]. Arbetet kommer fokusera på att analysera den första generationens solceller.

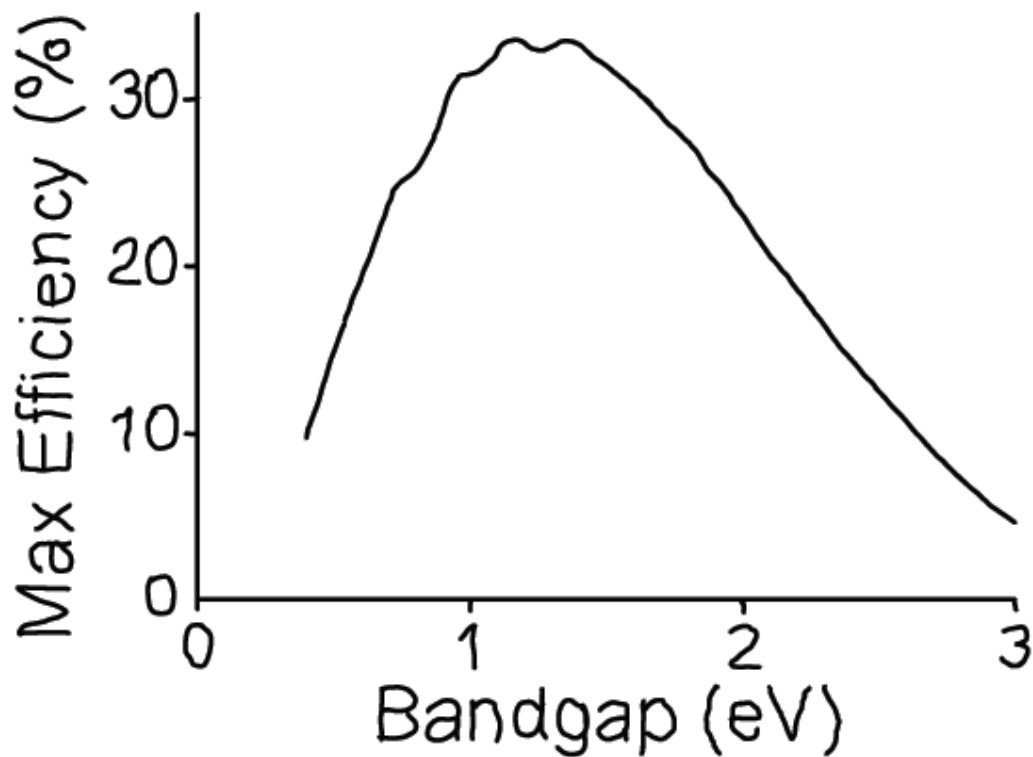
2.1.1 Solcellens funktion

En solcellspanel konverterar solenergi till elektricitet genom en P-N övergång i panelens halvledare. Halvledaren har två band som elektroner kan befinna sig på, valens- och ledningsbandet. När solcellens fotoner träffar solpanelen, absorberas dem och förflyttar elektroner från valens- till ledningsbandet. När övergången mellan banden sker så genereras elektricitet [2].



Figur.1. Visualisering av valens- samt ledningsbandet och bandgapet. Avritning från [2]

Utifrån fig.1 kan P-N övergången visas där elektroner förflyttar sig mellan banden för att generera elektricitet. Mellan banden befinner sig även ett bandgap vars storlek avgör mängden elektronvolt som krävs för att elektronerna ska förflytta sig från valens- till ledningsbandet.



Figur.2. Shockley-Queisser Limit kurva. Avritning från [3]

Utifrån fig.2 visas Shockley-Queisser Limit kurvan som beskriver hur värdet på bandgapet påverkar effektiviteten på solcellen. Den visar att bandgapet bör vara mellan 1.1 och 1.5 eV för att kunna nå en så hög effektivitet som möjligt. Bandgapet varierar beroende på materialet som halvledare består av [3].

2.1.2 Mono- och polykristallinceller

Kristallinceller beskrivs vara den första typen av solceller som skapades och är den vanligaste typen som används. Solcellen använder sig av silikon i halvledaren, vilket är det vanligaste valet av material för halvledare i solpaneler. Ungefär 90% av alla solceller använder silikon som halvledarmaterial vilket troligtvis beror på att det följer med ett antal fördelar. Silikon är generellt ett stabilt och ofarligt ämne för naturen men även lättillgängligt att få i stora mängder. Ytterligare har silikon ett bandgap på 1.12 eV vilket, i jämförelse med Shockley-Queisser Limit kurvan i fig.2, kan visa sig vara ett optimalt bandgap för att nå en hög effektivitet på solcellen [2]. I kristallinsolceller finns det två olika varianter av celler som används, mono- samt polykristallinceller. Monokristallinceller beskrivs generellt ha en bättre effektivitet medan polykristallinceller har en lägre produktionskostnad, släpper ut mindre växthusgaser och är mer stilrena till utseendet [2].

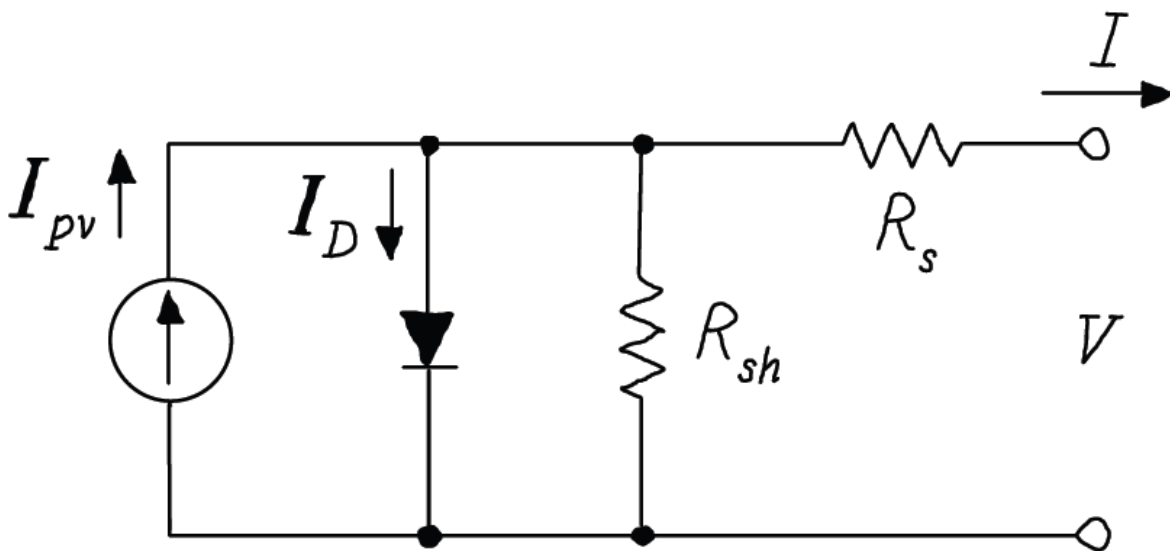
2.1.3 Strålning på solcell

Vilken strålning som träffar solcellen beror på vilken latitud som den är placerad på. Dessutom kommer varierande väder att starkt påverka hur mycket solstrålning som kan träffa solcellsmodulen.

Strålningen som kan påverka en solcell är den som absorberas in till det halvledande materialet. Då strålningen absorberas skickas elektroner via det halvledande materialet som skapar en potentialskillnad inom solcellen vilket leder till att en likspänning skapas. Då en likspänning har genererats kan energi överföras från solcellen till elektriska komponenter. Eftersom spänningen från solcellen är likspänning behöver den göras om till växelspänning vilket görs via en inverterare. Inverteraren ger en viss mängd förluster då den omvandlar likspänning till växelspänning [4].

2.1.4 Kretsschema över solcell

För att förstå hur mycket solcellen producerar och hur den fungerar mer generellt kan ett ekvivalent kretsschema tas fram. Ett förenklat kretsschema för en solcell visas i fig.3.



Figur.3. Förenklad kretsschema över solcell. Avritning från [5]

Utifrån kretsschemat i fig.3 kan flertalet komponenter visas. Det finns två olika resistanser i kretsschemat, vilket är serieresistansen samt en parallellkopplad shuntresistans [5]. I ett idealt sammanhang skulle resistorerna kunna försummas, men i och med att solpanelens effektivitet i verkligheten påverkas av dessa parametrar är det realistiskt att ha med dem. Serieresistansen beskrivs vara för de termiska förluster som sker i solpanelen, bland annat vid halvledaren samt kopplingarna. Shuntresistorn, eller parallellresistansen, är för de läckströmmar som kan ske i solpanelen beroende på dess specifikationer. Det beskrivs även att shuntresistansen är för enskilda solpaneler relativt liten, men ökar vid flera solpaneler kopplade till varandra [6]. Utifrån

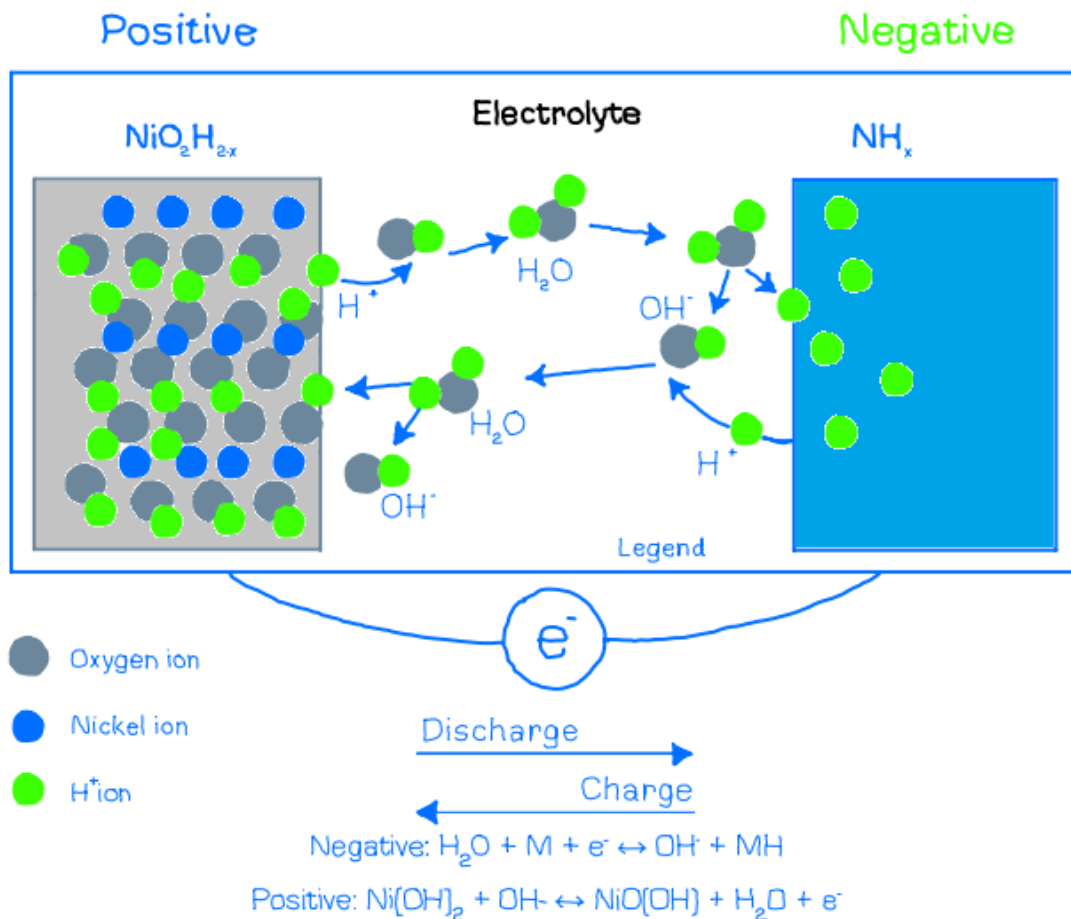
fig.3 visas även en diod som representerar solpanelens p-n övergång och dess halvledare som låter elektrisk energi överföras åt ett håll i solpanelens krets [6].

2.2 Batteri

Då solcellsmodulen skapar mer energi än den konsumerar kan den oanvända energin lagras i batterier för att sedan användas då produktionen är låg. Sektionen fokuserar på strukturen av laddningsbara batterier och jämför egenskaperna mellan nickelmetallhydrid och litumbatterier.

2.2.1 Nickelmetallhydrid och litumbatterier

Mekanismen för Li-ion batterier är densamma som för NimH. Det som skiljer dem åt är i hur deras anoder, katoder samt elektrolyter är gjorda.



Figur.4. Struktur och mekanism för laddningsbart NiMH batteri. Avritning från [7]

Utifrån fig.4 kan den grundläggande principen för ett laddningsbart batteri visualiseras. Till vänster och höger visas batteriets anod respektive katod [7]. De har båda till uppgift att lagra samt skicka elektroner men måste alltid ha motsatta lägen till varandra. Batteriet har två lägen som den kan finnas i, antingen laddning eller urladdning. Då batteriet urladdas kommer katoden att ta emot elektroner från anoden och vid laddning av batteriet kommer anoden att ta emot

elektroner från katoden. Mellan anoden och katoden finns ett dielektriskt material som är en vätskelösning av olika material [8].

Utifrån fig.4 är NiMH batteriets anod gjord av nickeloxidhydrid, Ni(OH)₂, och har en katod gjord av nickelhydrid, Ni [7]. Den här uppställningen ger NiMH batterier vissa egenskaper som gör dem passande för att använda i icke optimala miljöer. De främsta egenskaper hos NiMH batterier är deras förmåga att kunna överföra elektrisk energi inom relativt stora temperaturintervall, dess långa livslängd samt höga energidensitet [8]. Livslängden av ett nickelmetallhydrid batteri varierar beroende på hur mycket den laddas och urladdas [9].

Litium-jon batterier beskrivs vara bland de vanligaste batterier på marknaden. Deras grundläggande struktur är liknande till NiMH batterier, dock är den största skillnaden vilka metaller som de är gjorda av. Li-ion batterier har en anod som oftast är gjort av en komposition av litium och grafit, medan katoden vanligtvis är gjord av metalloxider som saknar elektroner [10].

Den vanligaste typen av ett Li-ion batteri har egenskaper som förklarar varför de är så populära. Då batterierna är gjorda av ett material som har det högsta energidensiteten som är tillgänglig på marknaden [10] på grund av dess höga urladdningshastighet samt deras bra cykellängder och långa livslängd [11].

2.2.2 Jämförelse mellan Li-ion och NiMH

Då NiMH batterier och Li-ion batterier har annorlunda egenskaper borde de jämföras för att bättre förstå vad de ger till elektriska kretsar och när de bör användas. NiMH batterier har en lägre energidensitet än Li-ion batterier, förutom fallet då höga urladdningsströmmar används [12]. Utifrån [13] har NiMH batterier ett större temperatursintervall som den kan operera inom jämfört med Li-ion batterier. NiMH batterier är i jämförelse bättre på att tolerera överladdning av sina batterier, vilket också kan vara en anledning till att de generellt är dyrare än Li-ion batterier.

Sammanfattat kan man säga att Li-ion batterier har bättre energidensitet och är billigare än NiMH batterier [14], men är mindre tåliga för extrema situationer. Detta gör att NiMH är mer passande att ha i produkter som ska tåla varierande miljöer.

2.2.3 Livslängd

NiMH batterier har en cykel bestående av urladdning och laddning. Livslängden beror på hur mycket den laddas eller urladdas. Om ett NiMH batteri laddas och urladdas men befinner sig inom 90% och 100% av dess full kapacitet kommer den att ha en relativt lång livslängd. Desto fler elektroner som flyter mellan anoden och katoden minskar kapaciteten inom batteriet genom flera olika mekanismer. Då elektrisk energi flyter genom litiumbatteriet sker nedbrytningen av anoden, katoden eller elektrolyten inom batteriet. Nedbrytning kan också ske genom ökning av

den interna impedansen av litiumbatteriet genom ökning av den interna resistansen och interna kapacitansen också ökar [15].

NiMH batteriers nedbrytning är relativt lik. Kapaciteten i NiMH batteriet minskar då metallhydriden i batteriet bryts ned vilket minskar förmågan att överföra elektrisk energi. Dessutom kan batteriets kapacitet minska då NiMH batteriets positiva elektroder bryts ned samt dess negativa elektroder sönderfaller [16].

Om batteriet urladdas till 10% och sedan laddas upp till 100% kommer livslängden att vara kortare då mer elektrisk energi kommer överföras genom batteriet kommer nedbrytningen av batteriet att ske fortare. Livslängden av ett batteripack beror på typ av batteri samt önskad livslängd från företag.

2.2.4 State Of Charge (SOC)

För att mäta hur mycket laddning som finns kvar i ett batteri brukar mängden laddning mätas i enheten Ah. Det finns många olika sätt att kontinuerligt förstå laddningsnivån av batteriet med olika nivåer av komplexitet, där de flesta behöver använda praktiska mätningar för att noggrant etablera karaktäristiken av batteriet för att kunna bedöma dess prestanda vid bruk. Det finns också fler teoretiska beräkningar som är enklare för beräkning av exempelvis en dator för att etablera laddningsnivån på ett batteri. Nackdelen med dessa beräkningssätt är att de tappar sin noggrannhet i att kunna få en exakt bestämmelse av batteriets laddning [17]. I fig.5 visas formeln för att beräkna SOC enligt coulomb counting metoden.

$$SOC(t_1) = SOC(t_0) + \left[\frac{1}{C_n} \int_{t_0}^{t_0+t} I_{bat} dt \right] \times 100\%$$

Figur 5. Bestämmelse av SOC utifrån coulomb counting metoden. Avritning från [17]

Coulomb counting är bland de vanligaste sätten att mäta SOC. Modellen är populär då den är enkel att implementera. I fig.5 kan det observeras att SOC beräknas genom att först veta begynnelseladdningen av batteriet kan strömmen som överförs genom batteriet integreras och sedan adderas till begynnelseladdningen för att bestämma SOC av batteriet. Tidsintervallet som integreras över kan variera men brukar vara timvis då laddningen mäts i Ah. Det medföljer dock vissa svårigheter med denna teoretiska modell av SOC, exempelvis att den inte kan ha med flera olika variabler som kan påverka batteriet. Den kan även inte hålla koll på kapacitetsförlust i batteriet, samt har svårt att hålla koll på ifall det blir några mätningsfel då formeln inte har något specifikt batteris karaktäristik i åtanke. Trots de problem med coulomb counting metoden är den ändå användbar för att simulera och beräkna SOC i allmänna sammanhang [17].

En vanlig karaktäristik som kan etableras för ett batteri är den interna resistansen av batteriet eller batteripacket. Den interna resistansen är inte en hel komponent som finns i batteriet men

är en modell som beskriver hur de olika komponenter i batterier påverkar varandra. Då batteriet skickar laddning eller får laddning kommer förluster uppstå i de komponenter som utgör batteriet. Dessa förluster kan vara på grund av att en del av energin som överförs omvandlas till värme i batteriets elektrolyt eller anod samt katod. Den interna resistansen ökar då de kemiska reaktionerna i ett batteri orsakar oxidering inom batteriet [16]. Förluster kan förekomma inom batteriet då de kommer att motstå överföringen av energi. Detta innebär att vid en viss laddningsnivå kommer den interna resistansen att förhindra att batteripacket skickar någon sorts energi till belastning [17].

2.3 Laddregulatorer

Laddregulatorns främsta uppgift är att se till att batteriet kan lagra samt använda energi på ett hållbart och effektivt sätt utan att skada dess livslängd [18]. Om laddregulatorn inte skulle finnas med i processen kan batteriet inte skydda sig för överbelastning, vilket i längden skulle innebära att batteriet skadas. De två vanligaste typer av laddregulatorer för solcellspaneler är PWM samt MPPT, vilket är de två typerna som sektionen kommer att gå igenom [19].

2.3.1 PWM regulator

PWM regulatorn använder sig av tekniken pulsbreddsmodulering för att ladda batteriet med spänningen som skapas från solcellspanelen. Pulsbreddsmodulering innebär en styrning av pulser, där genom en reglerad pulslängd kan påverka utspänningens nivå. Genom att styra hur stor andel av perioden som ska vara av respektive på kan spänningsnivån styras. Denna metod beskrivs vara den mest effektiva för att nå en konstant spänningsnivå till batteriet. Genom en effektiv och väl reglerad laddning till batteriet minskar risken för att batteriet överladdas samt överhettas, vilket i längden påverkar batteriets livslängd positivt [19]. När batteriet inte är fullt kommer regulatorn ge ut långa pulser under en period, vilket leder till att batteriet laddas upp snabbare. Om batteriet däremot är nästan fulladdat kommer regulatorn att skicka kortare pulser, och på så sätt laddas batteriet inte upp lika snabbt. Detta leder till att batteriet kan laddas upp fullt men med mindre påfrestning i jämförelse om laddningen hade varit detsamma oavsett tillstånd på batteriet [20].

2.3.2 MPPT regulator

MPPT regulatorn kan beskrivas som den mest avancerade tekniken gällande solcellsladdning. Genom en konverterare kan den minska spänningsnivån från solpanelen till spänningsnivån som batteriet använder vid laddning. Genom detta kan regulatorn beräkna när strömmen är som högst och därav börja ladda batteriet. En MPPT regulator är en DC/DC transformator, vilket gör det möjligt för den att omvandla en högre likspänning till lägre likspänning för utmatning [19]. I och med att regulatorn anpassar sig för att hitta en punkt där den kan producera maximal effekt, så leder det till att den är mer effektiv än andra regulatorer. För att regulatorn ska effektivt kunna söka efter den maximala effekten så mäter den av solens strålning, omgivnings- samt solcellstemperatur [20]. Nackdelen med en MPPT regulator är att den är relativt komplicerad samt dyr, vilket gör att den sällan används i lågeffekt installationer [19].

2.3.3 Jämförelse mellan PWM- och MPPT regulator

Vid jämförelse av PWM och MPPT regulator finns det flera olika faktorer att ta till hänsyn. Utifrån klimatförhållanden så beskrivs MPPT regulatorn vara bättre vid ett kallare klimat, detta eftersom den kan fånga in överskottsspänning som blir mellan batteriet och solcellens spänningsnivåer. Då en PWM regulator opererar när solcellen och batteriet har samma spänningsnivå, finns det då inget överskott att hämta. Vid varmare klimat finns det däremot ingen överskottsspänning att fånga, och då finns det ingen fördel med MPPT i jämförelse till PWM. Fördelen med PWM är dock vid system som använder sig av mindre effekter. Eftersom MPPT regulatorn är komplicerad och dyr, så blir deras fördel mot PWM inte tillräckligt stor vid installationer som hanterar en effekt mindre än 150-200W. MPPT regulatorn beskrivs vara upp till 30% mer effektiv än PWM, men kräver större system för att föredras över PWM regulatorn [19].

2.4 Styrssystem i off-grid

Styrssystem är ett effektivt sätt att optimera en process eller produkt. För att skapa ett väl fungerande styrssystem behöver två områden optimeras, kommunikering mellan operativa komponenter i en produkt samt kontrollprocessen av de reglerande komponenter i produkten. Denna sektion kommer att sammanfatta hur dessa två områden kan optimeras.

2.4.1 Kommunikering mellan parter

Kommunikation mellan parter sker genom två steg, först måste sensorer mäta produktens enheter som sedan skickar värdena till en kontrollerande enhet. Sensorn mäter värden genom att omvandla de analoga värden som den får och omvandlar dessa till digitala värden som sedan kan användas i ett digitalt styrssystem [21]. De uppmätna värdena skickas till en kontrollerande enhet som kan ta emot de omvandlade värdena och skicka dem, genom en kontrollprocess, för att uppnå ett önskvärt ändamål för användaren av produkten [22].

2.4.2 Kontrollprocess

Den kontrollerande enheten kommer att, när den har tagit emot enheterna från sensorn, kompensera för dessa nya värden, vilket kan göras genom ett återkopplat regleringssystem. Återkoppling innebär att systemet mäter av det aktuella värdet och sedan reglerar utefter hur det aktuella värdet ligger i jämförelse till det önskade värdet. Då återkopplingen sker kan den kontrollerande enheten skicka signaler till andra komponenter i en produkt för att justera de aktuella värdena från sensorn så att systemet hamnar i balans ur det återkopplade regleringssystemets perspektiv [22].

2.4.3 PIR-sensor

PIR-sensors huvuduppgift är att detektera möjlig rörelse och vanligtvis avgöra ifall det är en människa eller inte som rört sig inom ett specifikt område. Sensorn beskrivs vara relativt liten, smidig samt kräver låg energi vid drift, vilket gör den väldigt användbar även i mindre installationer. Vid detektering kommer sensorn att generera termisk energi till elektrisk energi, och sedan skicka en signal till en kontrollenhet för att visa att en rörelse har skett vid området [23].

2.5 Belysningsteknik

2.5.1 Mätbara värden

De främsta mätbara enheterna som är viktiga inom belysningsteknik är enheterna lumens och lux. Lumens är måttet på hur mycket ljus som skickas från en ljuskälla baserat på hur mycket Watt som den försörjs och mäts enligt lumens/Watt [24]. Lux är den enhet som beskriver styrkan av det ljus som träffar en yta och är starkt beroende på vilken höjd ljuskällan är jämfört med ytan som källans ljus träffar. Lux mäts genom enheten lumens/kvadratmeter [24].

2.5.2 LED

LED lampor beskrivs vara ett smart alternativ i och med dess positiva egenskaper gällande livslängd samt miljöpåverkan. Den genomsnittliga livslängden för en LED lampa är ungefär 50 000 timmar, medan den för ett lysrör är den beräknad till 2000 timmar. I jämförelse med ett lysrör är LED mer effektivt och kräver ungefär bara en tredjedel av effekten för att nå samma resultat. Ur ett miljöperspektiv är LED relativt miljövänlig i och med att den inte innehåller grundämnet kvicksilver [25].

3 Metod

Kapitlet beskriver de metoder som används under arbetet. För att beskriva arbetets delar i sin helhet beskrivs det i tre olika delar: Arbetsgång, Bedömningskriterier samt jämförelse med testdata och produkt. Detta ger en helhet i arbetet från utförande till utvärdering av de resultat som givits.

3.1 Arbetsgång

För att kunna simulera data för en solcellspanel importerades data från EU's geografiska verktyg som mäter timvis solstrålning på specifika platser. Denna data kombinerat med specifikationer och data från solcellspanelen kan sedan ses som den hela energiproduktionen. Därefter importerades tidtabellerna för Årsta bryggeri för i år, vilket beskriver vilka tider på dygnet som solcellslampan beräknas konsumera sin energi. Genom att skapa en tabell och hur konsumtionen varierar under året, kunde data importeras till matlab för att sedan användas för att analysera solcellslampans funktion.

När all tillgänglig data var importerad till matlab skapades sedan själva systemet som reglerar lampans konsumtion och produktion. Funktioner som batteri och styrning när konsumtionen ändras kunde sedan implementeras för att skapa en så realistisk modell som möjligt. När matlab modellen sedan var färdigbyggd kunde simuleringar under år 2016–2020 skapas som grund för arbetets slutsatser.

3.2 Bedömningskriterier

För att kunna bedöma om solpanelen kan försörja batteriet med tillräckligt mycket energi så att lyktstolpen kan belysa Årsta bryggeri under ett helt år måste kriterier bestämmas om den kan uppnå detta ändamål. Metoden för att bestämma bedömningskriterier baseras på att det grundläggande målet är att försörja lyktstolpen med energi. Batteriet kommer att vara den enklaste komponenten att mätas för att bestämma om solpanelen kommer att kunna tillföra tillräckligt mycket energi till lampan. Batteriet kan mätas för att förstå hur mycket energi som skickas till lampan, hur mycket energi som generas från solpanelen och balansen mellan denna konsumtion respektive produktion. Genom att mäta batteriets SOC utöver hela året kan relationen mellan konsumtion och produktion mätas effektivt. Efter den här mätmetoden har bestämts måste gränserna som bedöms vara godtagbara bestämmas. Detta är beroende på vad som förväntas av företaget som vill ha produkten och vad de tror kommer vara bäst för livslängden av produkten.

3.3 Jämförelse mellan simuleringar för F8 Valetta M

Genom inhämtade data kan arbetet simulera flera potentiella utkast över hur modellen F8 Valetta M skulle reagera om den skulle vara monterad för Årsta bryggeri. Genom att ha ett brett antal simuleringar från olika år, kan en helhetsbild skapas och på så sätt dra slutsatser kring modellen. Utifrån dessa kan även slutsatser kring om modellen behöver kompletteras för att möta sitt behov under de mer krävande delar av åren.

4 Genomförande

4.1 Selux lyktstolpe

Selux är ett internationellt ljusföretag som arbetar för att samhället ska bli tryggare, miljövänligare och estetiskt med deras produkter. Företaget har flertalet olika produkter och modeller, tänkta för att passa alla möjliga lägen i samhället [26].

Produkten som arbetet jämför och analyserar heter F8 Valetta M, och är en självförsörjande lyktstolpe med en solcellspanel som energikälla. Att lyktstolpen är självförsörjande innebär att den inte är ansluten till det lokala elnätet, och kan på så sätt inte få kompensation ifall den inte klarar av att producera tillräckligt med energi [27]. Eftersom den är självförsörjande och inte kräver någon större installation, innebär det att den är relativt billig i drift i jämförelse med en traditionell lyktstolpe. Vidare specifikationer av solcellsmodellen kan visas i tabell.1, som beskriver informationen som visas i dess produktblad.

Tabell.1. Tabell över specifikationer från F8 Valetta M, tagen från produktblad [28].

Armaturhuvud	
Ljusflöde:	Upp till 4200 lumens
Ljusfärg:	2200K/ 3000K / 4000K
Livstid:	Över 100 000 timmar
Sensorteknik:	Innehavande av PIR sensor
Solpanel	
Effekt:	120 Wp
Typ av solcell:	Monokristallin
Lutningsvinklar:	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°
Batteri	
Kapacitet:	26Ah/12V, 39Ah/12V
Typ av batteri:	Nickel-Metall hydride (NiMH)
Livslängd:	12-15 år
Armatur	
Material:	Varmförzinkat stål
Höjd:	4/5 meter
Fundament:	800 mm

Utöver informationen om hårdvaran för F8 Valetta M har produkten även en mjukvara med viss specifikation. Produkten är bland annat utrustad med ett integrerat och intelligent batterisystem, tänkt för att anpassa batteriet utefter dess läge och på så sätt öka livslängden på det [29]. Ytterligare har produkten ett dygnet-runt internetuppkopplat övervakningssystem som kan styra konsumtionen samt övervaka solpanelens produktion. Övervakningssystemet kan även samla in data och se hur batterikapaciteten varierar över tid [27].

4.2 Datainsamling

4.2.1 Nedladdning av data för solstrålning

I och med att lyktstolpens position i arbetsgrunden är Årsta brygga krävdes datainsamling av Årstas bryggas solstrålning. Detta kunde fås genom Europa Kommissionens verktyg PVGIS, som har nerladdningsbar data från åren 2005 till och med 2020. I och med att arbetet ville jämföra mellan olika år valdes åren 2016 till och med 2020. Specifikationerna för nedladdning av data kan visas i tabell.2.

Tabell.2. Specifikationer för nedladdning av data från PVGIS [30].

Typ av data:	Timvis data
Monteringstyp:	Fast
Lutning:	Optimerad lutning
Solcellsteknik:	Kristallina silikon
Installerad topp effekt för solcell:	0.12 kWp
System förlust:	14%
Latitud, Longitud (Årsta brygga)	59.082, 18.171

Utifrån specifikationerna i PVGIS kunde data insamlas för åren 2016–2020 i form av varsitt Excel-ark. Utifrån att datatypen är timvis kunde det i programvaran sedan skapas en graf som jämför produktion och konsumtion timvis, vilket kan anses som väldigt passande. I och med att Selux lyktstolpe har en integrerad mjukvara som anpassar solcellspanelens lutning utefter förhållanden, så valdes optimerad lutning i PVGIS.

4.2.2 Tidtabeller för beräknad konsumtionstid

Lyktstolpens primära konsumtion är tänkt att ske då båtar och människor rör sig vid bryggan. Utifrån tidtabeller för Årsta brygga, som visas i Bilaga C, kunde en sammanslagning skapas för att få fram vilka timmar under varje dygn som lyktstolpen bör vara aktiv. Tidtabellerna varierar periodvis, vilket gör att det finns en vår-, sommar-, höst- samt vintertabell för Årsta brygga. Arbetet har tagit hänsyn till detta för att göra simuleringarna så realistiska som möjligt.

4.3 MATLAB

4.3.1 Solpanel

Det första steget i att modellera solpanelen var att behandla den som en energikälla, vars interna mekanism inte är känd, men där effektiviteten beskriver procenten av den användbara effekten som träffar dess yta. Modelleringen började med antagningen att solpanelen hade en effektivitet av 20%. Det fanns mer exakta modeller som kunde skapats för solcellen men för att kunna börja lägga grunden i koden förenklades solpanelen. Koden som bestämde solpanelens effekt öppnar en Excel fil nedladdad från [30]. Filen innehåller solstrålning vid en viss latitud och longitud varje timme under ett år mellan 2016 och 2020. Koden söker sedan igenom varje rad i Excel filen i ett 24 timmars intervall för att bestämma när produktionen sker.

Den mer komplicerade modellen grundläggs i att dimensionera kretsschemat som nämndes i teorisektionen. För att kunna dimensionera kretsschemat behövs andra parametrar i solpanelen bestämmas. Problem uppstod då det kom till att bestämma viss väsentlig fakta om solpanelen. Då vissa specifikationer om Selux solpanel inte kunde erhållas kunde vare sig shuntresistansen eller serieresistansen bestämmas och den modelleringen övergavs.

Effektiviteten av solpaneler varierar inom ett relativt stort intervall och blir därför svårt att etablera exakt eftersom det kommer att bero på flera olika variabler som inte är kända. Effektiviteten antogs först till att vara 20% men efter en experimentell analys av den installerade lyktstolpen, vars effektivitet var 25%, bestämdes det för simuleringarna att solpanelens effektivitet kan sättas högre. Effektivitet för solpanelen simulerades att vara 22%, detta då effektiviteten fortfarande kommer att variera mellan producerade solpaneler som inte alltid arbeta under perfekta förhållanden.

Utifrån intern dataspecifikation av produkten beräknas solpanelens area till 0.67 kvadratmeter. Detta innebär att produktionen behöver ha en faktor som minskar solpanelens area till 0,67 kvadratmeter då standarden annars är 1 kvadratmeter. Detta kan visas i Bilaga B i Matlabkoden.

4.3.2 Batteri

För att kunna förstå hur Selux lyktstolpen kommer att producera samt konsumera energi finns det en genväg. Genom att mäta batteripackets energinivå kan relationen mellan produktion och konsumtion mätas och analyseras under årets gång. Detta görs i matlabkoden, som visas i Bilaga B, genom att hämta produktionen per timme i ett 24 timmars intervall och sedan kolla om det sker konsumtion under samma timme. Om konsumtionen är större än produktionen kommer batteripackets energinivå att minska en viss procent beroende på hur mycket som konsumeras. Om produktionen är större än konsumtionen kommer batteripackets kapacitet att öka en viss procent beroende på hur mycket större produktionen är.

För att förstå hur batteripackets energinivå kommer att se ut under ett år måste en kontinuerlig simulering ske. Eftersom koden går i 24 timmars intervall in i veckointervall, och den inte sparar den slutgiltiga energinivån efter varje vecka, blir den enklaste metoden för att bestämma hur batteripacket presterar att simulera varje timme av året. Detta ger en helhetsbild av varje år i en graf som sedan kan jämföras med andra år för att se likheter och mönster.

Utifrån konversation [29] etablerades de intervaller som batteripackets energinivå bör variera mellan. Det finns fler intervall som baseras på vilken årstid det är och under vinter- samt hösttiden bör det inte gå under 70% av dess fulla laddning. Under vår- samt sommartid bör batteriets laddning inte gå under 60% av sin fulla kapacitet. Detta skapa riktlinjer för resultatet och kan sedan användas för att göra en bedömning.

För att kunna uppnå dessa krav togs flera åtgärder, till exempel halverades konsumtionen av lampan då lyktstolpen når en viss energinivå. Gränsen bestämdes efter observationer när energinivån började sjunka drastiskt under månaderna med minimal solstrålning. Dessutom testades flera olika kapaciteter för lyktstolpen för att kunna uppnå kraven från Trafikverket.

4.3.3 Reglersystem

I och med att Sveriges soltimmar inte är jämnt fördelat över året behöver ett avancerat reglersystem skapas för att kunna uppnå de önskade målen för lyktstolpen. Utifrån Matlabkoden, från Bilaga B, kan det visas att konsumtionen sker under specifika timmar under dygnet, vilket även varierar periodvis under året. Under timmarna som lyktstolpen ska vara aktiv beräknas lampan ha en effekt på 10W vid full effekt. I och med att produktionen under vinterhalvåret beräknas vara mindre än under sommaren, har en reglering av effekten skapas för att kunna spara på batteriets kapacitet. Ifall nuvarande kapacitet av batteriet är 90% eller under går lampan ner till halveffekt, det vill säga 5W, för att kunna spara på batteriets kapacitet. Detta

är främst skapat för att nå de satta målen kring minimala batterikapacitet på 70% för vinterhalvåret.

För att ytterligare kunna spara på kapaciteten har en regleringsrutin skapats där lampan inte blir aktiv om det är tillräckligt ljus ute, trots att den enligt schema ska bli aktiv. Denna rutin gäller enbart under höst- och vinterperiod, eftersom det främst är då systemet behöver spara på kapaciteten. Under vår- och sommarperiod är detta inte lika aktivt eftersom solpanelen snarare generellt producerar ett överskott av energi. Rutinen är baserad på att mäta solstrålningen från solpanelen för att avgöra om det är tillräckligt ljus ute för att kunna utföra den.

I och med att solpanelen har en omriktare i sig för att kunna transformera spänningen mellan DC och AC för att uppfylla olika nyttan, leder det till en förlust som räknas med i Matlabkoden. Storleken på förlusten uppskattas vara ungefär 6%, och adderas till batterikonstanten enligt Matlabkoden i Bilaga B.

5 Resultat

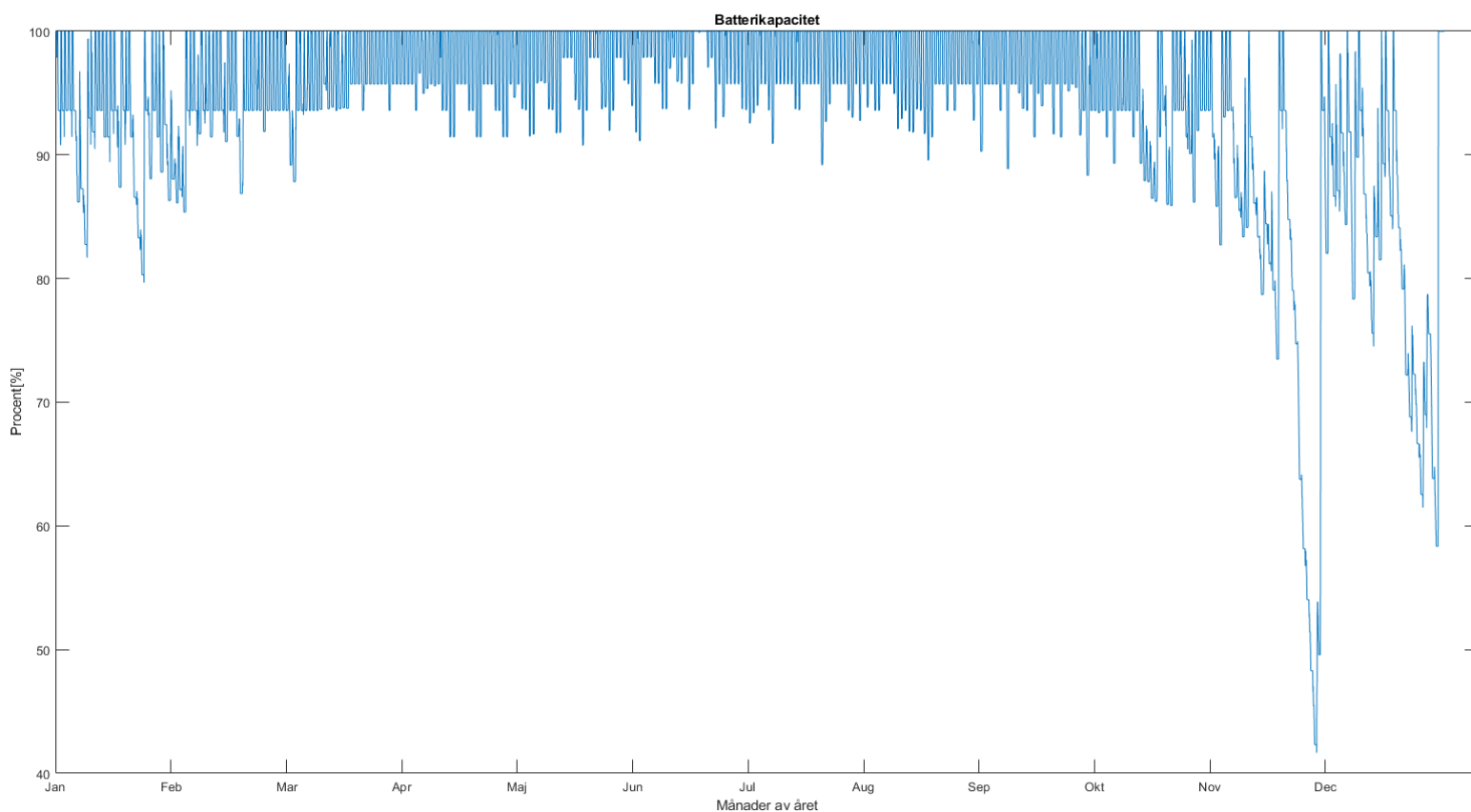
Kapitlet innehåller simuleringarna av Selux lyktstolpe samt redovisar de åtgärder som vidtogs för att uppnå de bestämda bedömningskriterierna.

5.1 Simuleringar

I den här sektionen kommer de simuleringar som gjordes för stolpen att visas. Sektionen består av två delar, de fall som är normen och det fall som verkar som ett extremfall. Dessa fall kommer att visas vid olika nivåer av kapacitet på energipacket med Selux lyktstolpens specificerade batteripacks kapacitet som grund.

5.1.1 Normen

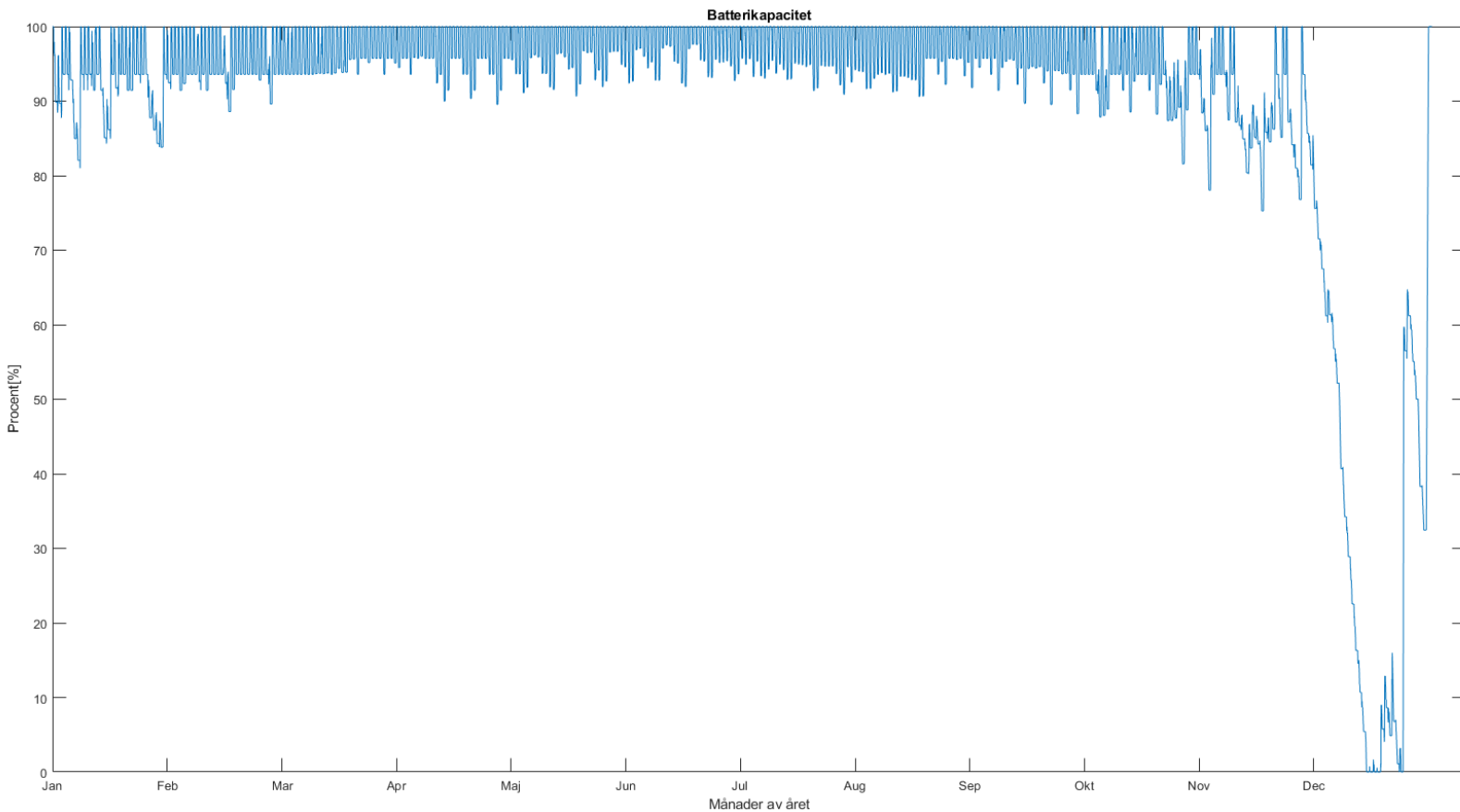
Utifrån simuleringarna från de 5 åren visar det sig att det bildats en upprepande trend bland åren. Därav följer trenden inte under år 2020 och kan i stället beskrivas som ett undantag i jämförelse med tidigare år. Simuleringarna för år 2016–2019 kan då representera normen för hur resultatet kommer att variera utöver året. För att visa normen kommer ett år att användas som exempel, specifikt kommer året 2019 att användas.



Figur 6. Enkelkapacitet för år 2019.

Utifrån fig.6 visas simuleringen för år 2019 vid enkelkapacitet. Utifrån grafen så är batterikapaciteten stadigt över 80% under stora delar av året, förutom vid november och december då det blir lägre. Den lägsta punkten är ungefär 42% och nås vid skiftet mellan november och december. I jämförelse till de mål som finns gällande batterikapaciteten så ska kapacitet inte gå under 70% av batteriets maxkapacitet under vinterhalvåret, vilket den synnerligen gör. Under resterande delar av året klarar den av de satta målen gällande kapaciteten av batteriet.

5.1.2 Extremfall



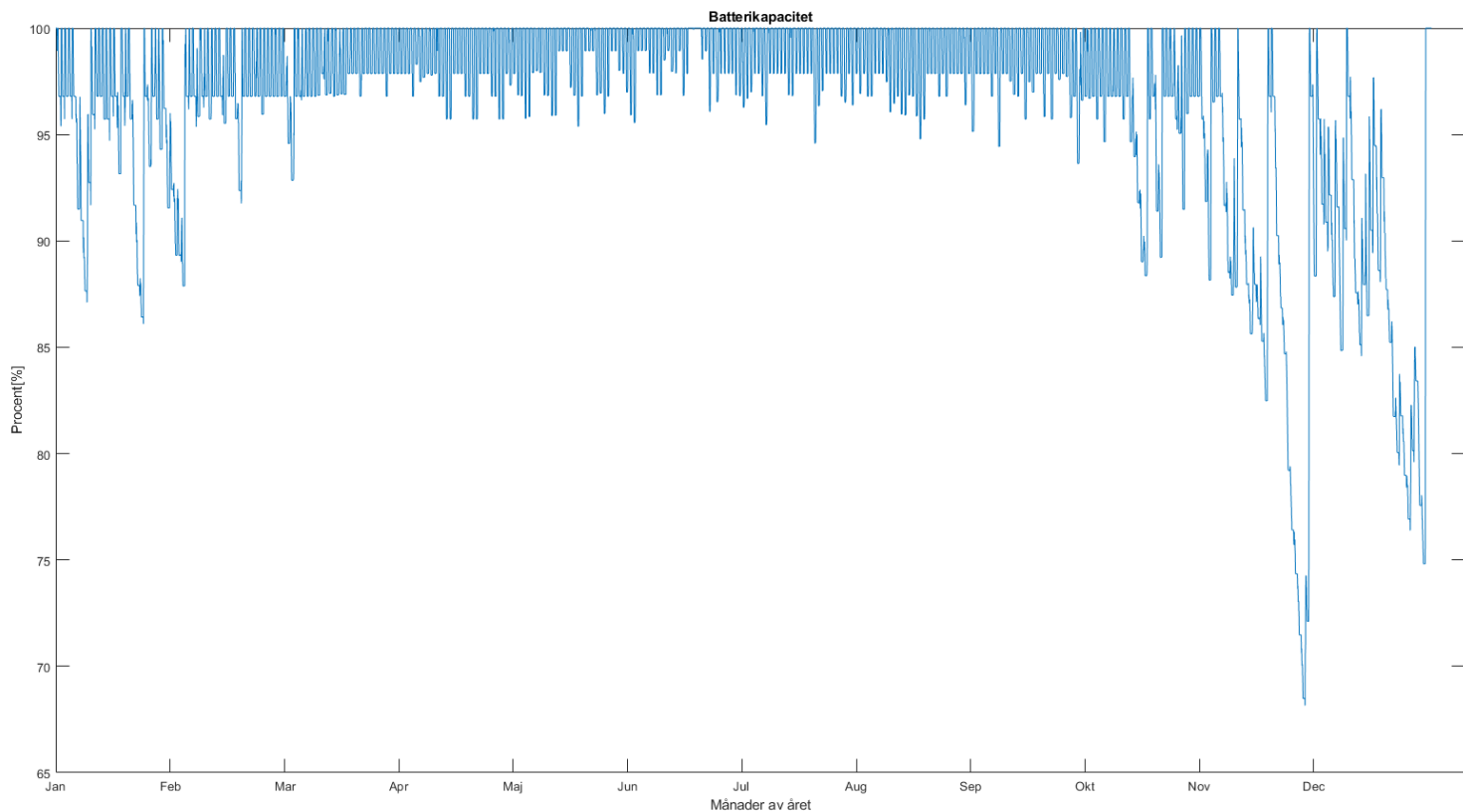
Figur.7. Enkelkapacitet för år 2020.

Utifrån fig.7 visas simuleringen för enkelkapacitet under år 2020. Utifrån grafen visas det att under slutet av året går batterikapaciteten väldigt lågt och blir noll under en kortare tid. Under december månad är målet att batterikapaciteten inte ska sjunka under 70%, vilket den vid enkelkapacitet synnerligen inte når upp till. Under resterande del av året beräknas den nå de målen gällande batterikapaciteten.

5.2 Ökad kapacitet

En möjlig lösning på problemet med batterikapaciteten är att öka den. Avsnittet visar simuleringar från dubbelkapacitet för år 2020 och 2019 samt en simulering med trippelkapacitet för år 2020. Kapaciteten har ökats genom att implementera 1 eller 2 extra batterier i lyktstolpsmodellen.

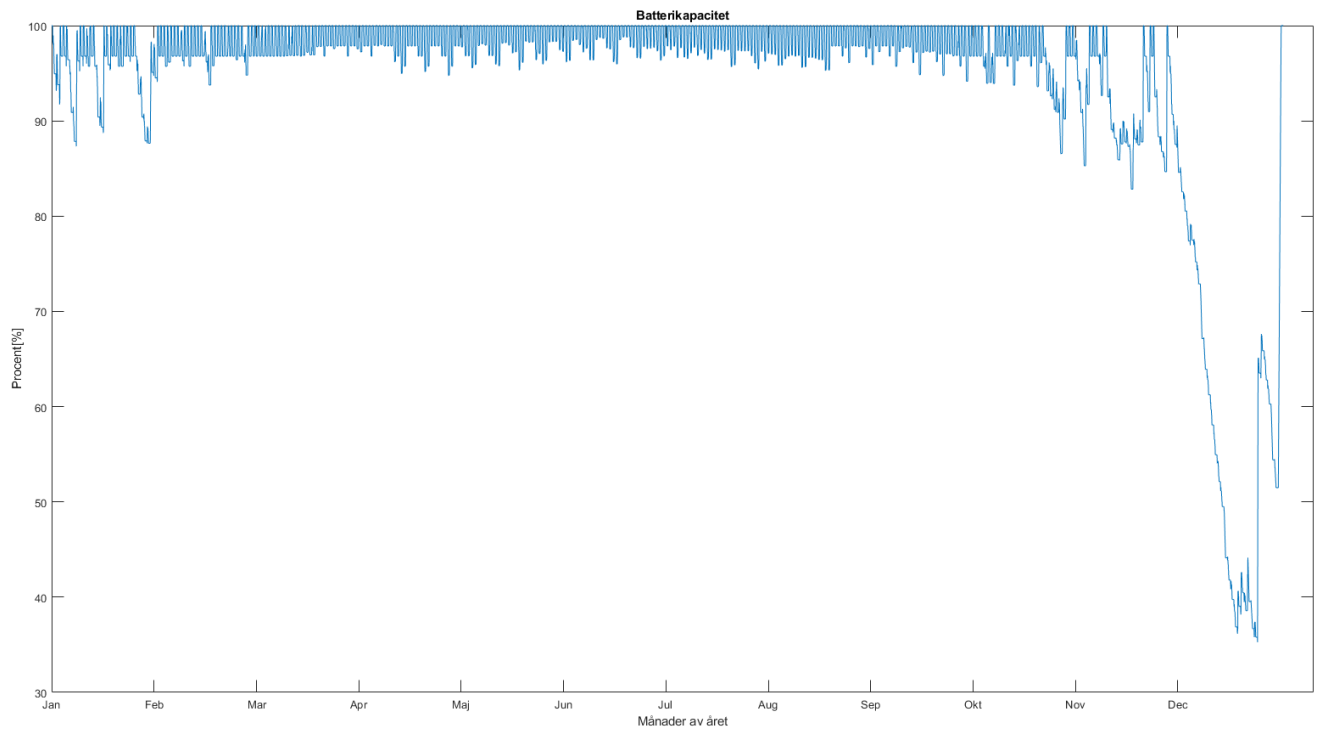
5.2.1 Dubbelkapacitet för år 2019



Figur.8. Dubbelkapacitet för år 2019.

Utifrån fig.8 visas simuleringen för år 2019 vid dubbelkapacitet av batteriet. Utifrån grafen visas en lägsta punkt på ungefär 68%, men varar bara under en kortare stund. Likt fig.6 som visar 2019 vid enkelkapacitet så sker den lägsta punkten vid månadsskiftet mellan november och december. Utifrån de satta målen för vinterperioden, där batterikapaciteten inte ska gå under 70%, så kan man utifrån grafen beskriva att den mer eller mindre når de kraven. Utöver en kortare tid då batteriet går ner till ungefär 68%, så håller sig batterikapaciteten mer eller mindre över 70% under hela året.

5.2.2 Dubbelkapacitet för år 2020

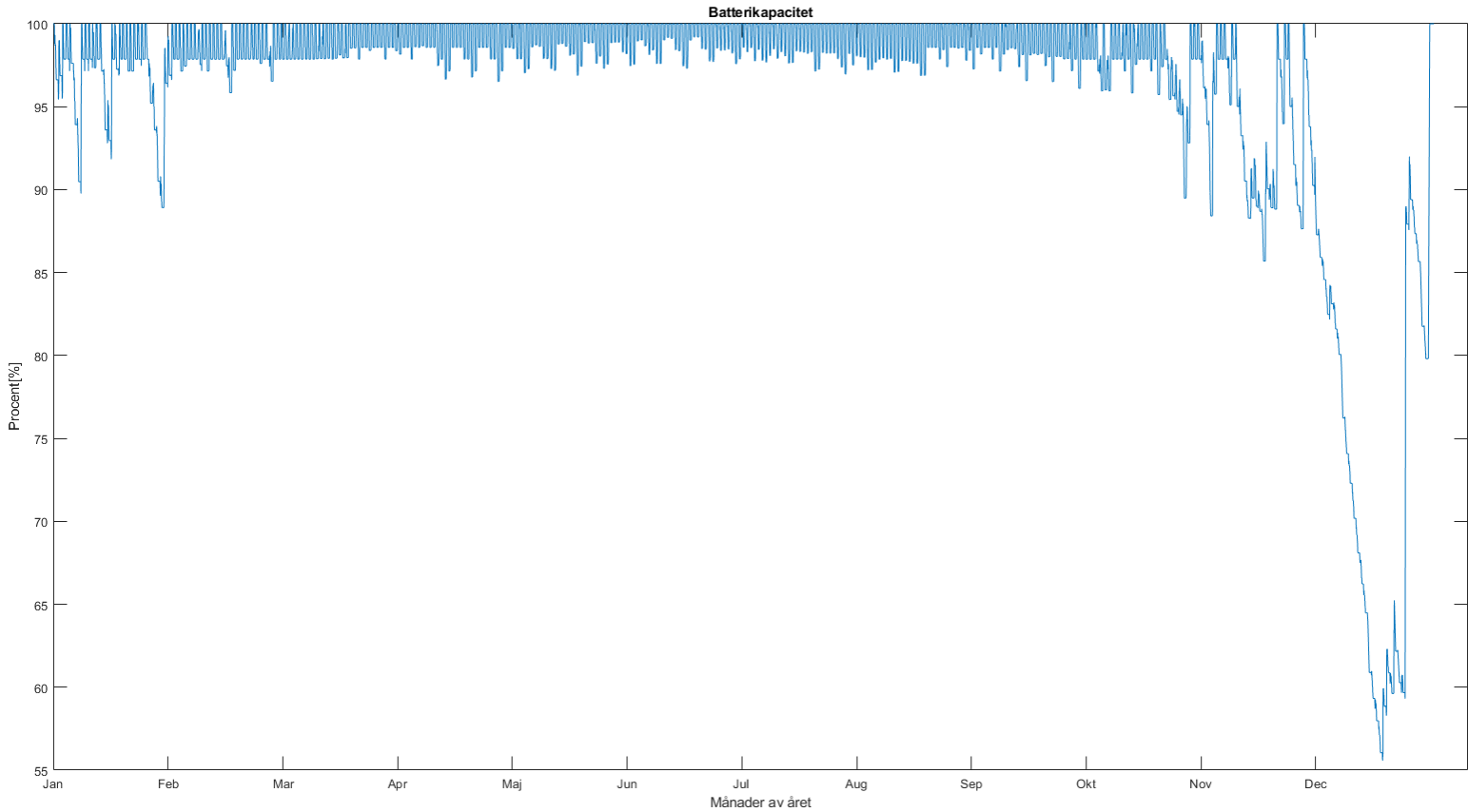


Figur.9. Dubbelkapacitet för år 2020.

Utifrån fig.9 visas simuleringen för år 2020 vid dubbelkapacitet. I jämförelse till fig.7 med enkelkapacitet har batterinivån under december månad förbättras, då den vid dubbelkapacitet har sin lägsta punkt vid ungefär 35%. Däremot når den fortfarande inte de satta målen för december månad, då nivån går under 70% av dess fulla kapacitet. Under resterande del av året befinner sig batteriet nästan i full kapacitet under flera tillfällen, och har generellt inga problem att nå de satta kraven gällande batterikapaciteten.

5.2.3 Trippelkapacitet för år 2020

För att uppnå de satta målen även för år 2020, vilket beskrivs vara de värsta fallet för de 5 åren, så har en simulering för trippelkapacitet även tagits fram. Grafen visas enligt fig.10:

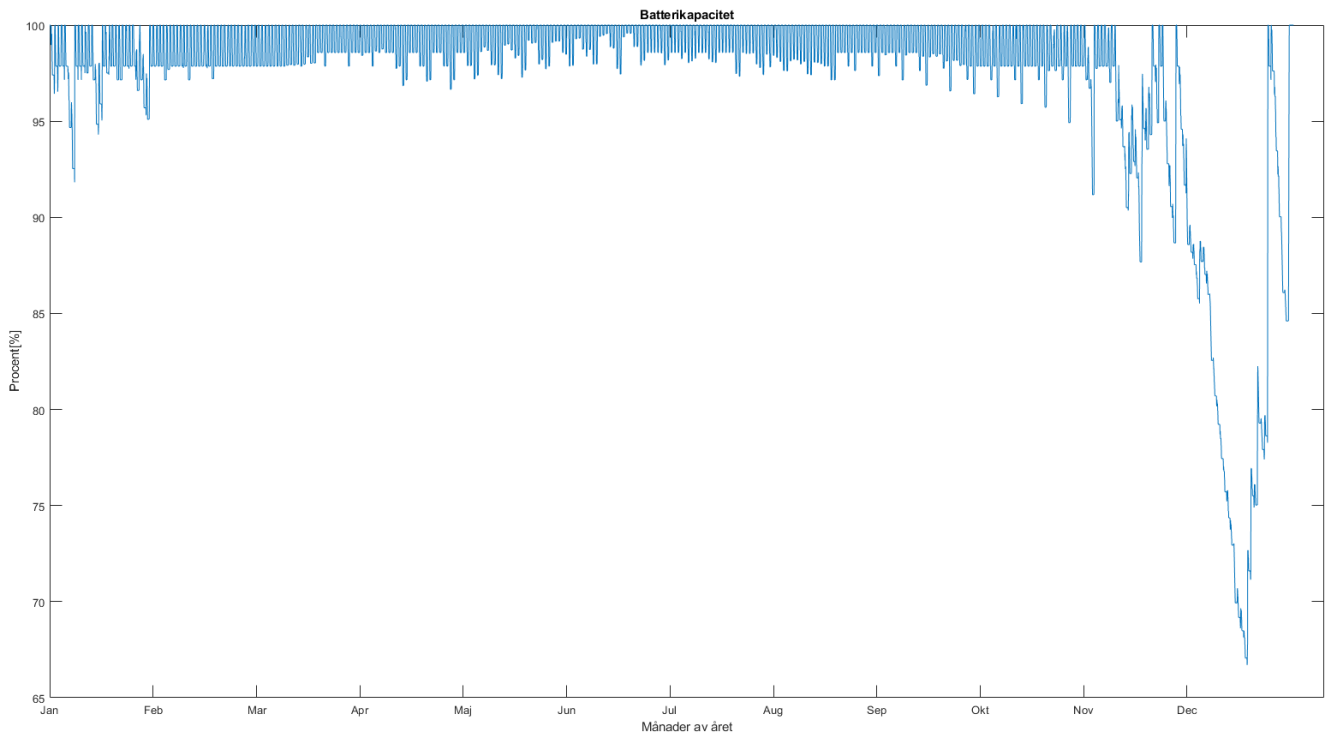


Figur.10. Graf över trippelkapacitet för år 2020.

Utifrån fig.10 visas grafen för trippelkapaciteten under år 2020, där lägsta punkten nås till strax över 55% av batteriets kapacitet. I jämförelse med fig.9, som visar simuleringen för 2020 med dubbelkapacitet så har den lägsta punkten förbättrats med ungefär 20 procentenheter. Trots förbättringen så når simuleringen för 2020 fortfarande inte de satta målen för vinterperioden.

5.3 Ökad solpanelsarea

Utöver att öka batterikapacitet kan en utökad area av solpanelen även leda till en förbättrad batterikapacitet. Simulering för år 2020 med trippelkapacitet och dubbelarea kan visas i fig.11.



Figur.11. Simulering för år 2020 med trippelkapacitet och dubbelarea för solpanelen.

Utifrån simuleringarna i fig.11 kan det visas att en utökad area av solpanelen leder till att en förbättrad kapacitet, vilket nu har sitt minimivärde vid ungefär 67%. Noterbart är att batterikapaciteten enbart är under 70% under en kortare tid i mitten av december, medan den under resterande del av vinterperioden klarar av att vara 70% eller över. Utifrån dessa resultat kan det konstateras att en utökad area av solpanelen synnerligen hjälper lyktstolpen till att nå sina mål.

6 Diskussion

Utifrån resultatet kan det skapas två fall för att mäta batteriets kapacitet, enligt normen samt vid extremfall. Utifrån resultat för enkelkapacitet, som kan visas i Bilaga A, kan man konstatera att åren 2016–2019 är relativt lika varandra. Däremot sticker 2020 ut och kan anses som det sämre året av de 5, vilket gör det till arbetets extremfall. Utifrån resultatet för enkelkapacitet för år 2019 och 2020 kan det visas att kapaciteten klarar sig bra under större delar av året, men når en väldigt låg punkt vid början av vinterperioden. För normen är den lägsta punkten omkring 42%, men för extremfallet är denna punkt omkring 0%. Detta uppfyller inte de kriterier som satts för arbetet och en lösning av ökad kapacitet kunde konstateras.

Vid dubbelkapacitet, som innebär ett extra batteri för modellen visar det sig att det skulle förbättra batteriets årliga kapacitet. För år 2020 förbättrades den lägsta punkten till omkring 35%, vilket fortfarande inte uppfyller de satta kriterierna men kan ses som en förbättring. För 2019 skulle dubbelkapacitet innebära att den lägsta punkten förbättrades till omkring 68%. Det som går att konstatera utifrån resultatet är att denna punkt enbart är under en väldigt kort tid och generellt annars alltid befinner sig över 70% under vinterperioden. Detta leder till slutsatsen att för normen så skulle dubbelkapacitet räcka för att möta de kriterierna som satts för arbetet. För att förbättra extremfallet testades trippelkapacitet, vilket visas i resultatkapitlet. Simuleringen visade att batterikapaciteten då förbättrades till omkring 56%, men faller fortfarande under slutsatsen att det ännu inte når de satta kriterierna. En lösning är att ytterligare utöka batterikapaciteten men det finns andra alternativ för att lösa konsumtion och produktionsförhållandet. Eftersom solpanelens produktion är beroende på mängden strålning som kan träffa dess area skulle en möjlighet vara att öka solpanelens area för att öka energiintaget. Ytterligare simuleringar utfördes då där solpanelens area fördubblades, vilket visas under resultatkapitlet. Utifrån simuleringen för det fallet kunde kapaciteten förbättras, och extremfallet fick då en lägsta punkt till omkring 68%. Detta kan anses som godtagbart och att de når de kriterier som satts för batteriets kapacitet.

När lyktstolpen testades praktiskt ledde det till en effektivitet på omkring 25%. Detta är dock lite av ett extremfall, eftersom solcellsmodulen kan agera under bästa förhållande när den är ny så valdes det att sätta simuleringarna med en effektivitet på 22%. Detta för att göra det mer realistisk i och med att 25% effektivitet är då den arbetar under perfekta förhållanden, vilket den inte alltid kommer göra under ett år.

I och med att lyktstolpens batteripack beräknas möta kraven under 4 av 5 år med dubbelkapacitet, och att man under det extrema året fortfarande kommer att kunna möta sitt behov, kan det skapa en diskussion om det är värt att implementera ett tredje batteri. Detta har dock en större betydelse för lyktstolpen än enbart att möta produktionen. I och med att batteriets livslängd försämras vid stora variationer av SOC, leder det till att vid dubbelkapacitet skulle batteriets livslängd då riskeras att försämras om ett år är mycket sämre än de andra. Att öka kapaciteten kan ses som en hög initialkostnad, men skulle i slutändan kunna leda till att batteriet och att dess kapacitet håller längre.

Vid simuleringarna har konsumtionen enbart bestått av planerade tider då lampan ska vara aktiv, men det finns även andra faktorer som kommer leda till en ökad konsumtion. I och med att lyktstolpen har en PIR-sensor, rörelsedetektor, så kommer lampan även att bli aktiv då det finns rörelse omkring området. Nämnbart är att denna rörelse troligtvis kommer att ske under vår-, sommar- och eventuell tidig höstperiod då det annars är kallt och opassande att röra sig vid bryggorna. Detta skulle i sådana fall inte behöva ses som något negativt, då lyktstolpen inte har problem att möta dessa behov under den delen av året. I och med att lyktstolpen har svårt att möta behovet under vinterperioden, vilket är perioden som det troligtvis inte är så mycket spontan rörelse vid bryggorna, försummas det i simuleringarna.

Simuleringarna av produktion gentemot konsumtion har flera begränsningar men det går att förbättra dem. Förslagsvis skulle tester kunna utföras på solpanelerna av Selux produkten för att säkerställa karaktäristiken av panelen för att effektivt kunna simulera förlusterna som sker i produktionen av spänning. Dessutom skulle de simulerade graferna kunna jämföras med en verklig mätning av Selux produkten vid Årsta brygga för att sedan jämföra det med de simulerade resultaten. Detta bör göras för att Matlab simuleringarna ger en överblick men kan enbart anses som hypotetiska. Detta kan dock förbättras vid jämförelse med riktiga mätningar för att få en mer exakt simulering av produktion gentemot konsumtion.

7 Besvarande av frågeställningar och förbättringsmöjligheter

För att dra en slutsats kring arbetet ska besvarande av rapportens frågeställningar klargöras. Denna sektion kommer att upprepa projektets frågeställningar och ge svar på dessa samt de förbättringsmöjligheter som krävs. Detta kommer sedan att sammanfattas i slutet av sektionen.

Kan solcellslampan producera samt lagra tillräckligt med energi för att möta sitt behov året om?

Utifrån simuleringarna för normalkapacitet visas det att solcellslampan generellt kan möta de behov som den har över året. Däremot sticker det ut från år till år och utifrån simuleringarna visar det att den inte skulle kunna möta sina behov under 2020 som kan ses som ett extremfall. Vid implementering av dubbelkapacitet kan det visas att solcellslampan möter sina behov året om, även vid extremfallet. Däremot når de inte de krav och målsättningar som finns gällande batteriets lägsta kapacitet som får nås under vissa perioder av året.

Hur ska ett lämpligt regleringssystem se ut för att kunna göra detta möjligt?

För att kunna reglera lyktstolpen så att den är aktiv under vissa tider behöver tidtabellen implementeras och sedan skapa en rutin som gör lampan aktiv under de specifika perioderna. Ytterligare rutin är att lyktstolpen också ska kunna känna av rörelse vid området vilket den gör via en PIR-sensor som skickar en signal till drivrutin om att lampan behöver bli aktiv. För att sedan kunna reglera effektutmatning för att balansera batteriets kapacitet, behöver specifika rutiner skapas för att anpassa effektuttaget. Anledningen till detta är för att lampan inte ska överanvändas och på så sätt minska batteriets användbara kapacitet, vilket framför allt behövs ta till hänsyn för under vinterperioden där produktionen generellt är lägre än konsumtionen. Lämpliga rutiner som har implementeras i simuleringarna är exempelvis att halvera effekten på lampan om batteriets aktiva kapacitet är 90% eller under, vilket leder till att kapaciteten sparas och balanserar ut skillnaden mellan produktion och konsumtion. Ytterligare rutin är att lampan inte kan bli aktiv under vintertid när det är tillräckligt ljus ute, även fast den är schemalagt att bli aktiv. Bakgrunden till rutin är att lampan inte ska användas när den inte kan uppfylla sitt syfte, vilket leder till att batteriet sparar på sin kapacitet.

Kan Selux modell V8 Valetta M möta behovet eller behövs dess design kompletteras? Vad bör i så fall kompletteras?

Utifrån simuleringarna och resultaten kan det konstateras att modellen V8 Valetta M behöver kompletteras. Hur mycket och vad som ska kompletteras baseras på vilka målsättningar man har med produkten, och vad man kan tolerera att minsta batterikapaciteten kan bli. Utifrån arbetets mål kring batterikapaciteten för olika perioder visas det att batterikapaciteten behöver minst dubbleras för att klara av målsättningarna majoriteten av åren. För att utveckla designen ytterligare kan batterikapaciteten utökas med ett tredje batteri samt öka solpanelsarean för att även klara målsättningarna under de åren med mindre sol under året.

Kan batteriets kapacitet hålla sig över 60% på vår- och sommartid, och över 70% under höst- och vintertid?

Utifrån simuleringarna kan det visas att vår-, sommar- samt större delar av hösten har batteriet inget problem med att nå sina mål. Under vinterperioden blir det dock ett problem, vilket syns tydligt i simuleringarna som kan visas i resultatkapitlet eller Bilaga A. För år 2016–2019 krävs det dubbelkapacitet för att nå 70% eller över under vinterperioden. För år 2020, som kan anses som ett extremfall, krävs det trippelkapacitet samt att arean på solpanelen dubblas för att kunna nå kraven.

Som beskrivits finns det flera olika sätt att utveckla inom området för att nå sina mål, vilket även öppnar upp möjligheter för förbättringar. Utifrån simuleringarna kan det konstateras att det främst är tre faktorer som reglerar batteriets kapacitet över året. Dessa är batteriets maximala kapacitetsförmåga, area på solpanelen samt olika rutiner för reglersystemet. Utav dessa tre är det främst batteriets kapacitetsförmåga samt solpanelens area som är primära, men reglersystemet spelar även en viktig roll för att försöka minimera onödig användning eller liknande. En vidareutveckling inom rutinerna skulle kunna vara att försöka jämna ut konsumtionsspicarna, och reglera med lyktstolpens effektförbrukning för att ge mindre variationer i batteriets kapacitet. För att göra detta möjligt skulle en undersökning kring den lägsta acceptabla effektanvändning för lampan kunna göras, för att på så sätt eventuellt kunna spara energi. En viktig poängtering är att lyktstolpen fortfarande ska fylla sin funktion, så det är viktigt att trygghet och säkerhet ska ta till hänsyn vid en sådan undersökning. En balans kring passande area för solpanel samt ökad batterikapacitet skulle även kunna göras för att göra det så funktionellt men kostnadseffektivt som möjligt.

Referenslista

- [1] S. Durganjali, S. Bethanabhotla, S. Kasina and S. Radhika, "Recent Developments and Future Advancements in Solar Panels Technology," in Journal of Physics: Conference Series., 2020, pp. 1-9, doi: 10.1088/1742-6596/1495/1/012018
- [2] P. Sampaio and M. González, Eds., "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," in Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews, Jul. 2017. [Online].
<https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews/vol/74/suppl/C>
- [3] University WAFER. "What is the Shockley-Queisser Limit of Materials Used in Solar Panels?" universitywafer.com. <https://www.universitywafer.com/what-is-the-shockley-queisser-limit.html>
- [4] L. Micheli, M. Muller, M. Theristis, G.P. Smestad, F. Almonacid and E.F. Fernández, Eds., "Quantifying the impact of inverter clipping on photovoltaic performance and soiling losses," in Elsevier Renewable Energy, May. 2024. [Online]. Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148124003823>
- [5] J. Cubas, S. Pindado and C. De Manuel, Eds., "Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical Formulation and the Lambert W-function," in Energies 2014, Jun. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/1996-1073/7/7/4098>
- [6] Vinod, R. Kumar and S.K. Singh, Eds., "Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution," in Elsevier Energy Reports, Nov. 2018. [Online]. Tillgänglig:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718300842?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=88421b289d0092e8
- [7] NICKEL-METAL HYDRIDE BATTERY, European Association for Storage of Energy, u.å. [Online]. Tillgänglig: https://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE_TD_NiMH.pdf
- [8] M.A. Fetcenko, S.R. Ovshinsky, B. Reichman, K. Young, C. Fierro, J. Koch, A. Zallen, W. Mays and T. Ouchi, Eds., "Recent advances in NiMH battery technology," in Elsevier Journal of Power Sources, Mar. 2007. [Online]. Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775306021215>
- [9] J. Li, E. Murphy, J. Winnick and P.A. Kohl, Eds., "Studies on the cycle life of commercial lithium ion batteries during rapid charge-discharge cycling," in Elsevier Journal of Power Sources, Dec. 2001. [Online]. Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775301008217>
- [10] Y. Abu-Lebdeh and I. Davidson, "Nano-engineered Silicon Anodes for Lithium-Ion Rechargeable Batteries," in Nanotechnology for Lithium-Ion Batteries. New York, NY, USA: Springer, 2013, pp 43-67.

- [11] P.U. Nzereogu, A.D. Omah, F.I. Ezema, E.I. Iwuoha and A.C. Nwanya, Eds., "Anode materials for lithium-ion batteries: A review," in Elsevier Applied Surface Science Advances, Jun. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666523922000253>
- [12] J. Kang, F. Yan, P. Zhang and C. Du, Eds., "Comparison of comprehensive properties of Ni-MH (nickel-metal hydride) and Li-ion (lithium-ion) batteries in terms of energy efficiency," in Elsevier Energy, Jun. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214004514>
- [13] S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng, W. Shang, "Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: a review," in Progress in Natural Science: Materials International, Dec 2018 [Online]. Available: [Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review - ScienceDirect](#)
- [14] U. Krishnamoorthy, P. Ayyavu et. Al, "Efficient Battery Models for Performance Studies- Lithium Ion and Nickel Metal Hydride Battery," in Batteries, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2313-0105/9/1/52>
- [15] J. Edge, S. Kane et. Al, "Lithium ion battery degradation: what you need to know," Dyson School of Design Engineering, Imperial College London, London, UK, 2021/03/22. Accessed: 2024/03/20 [Online]. Available: [Lithium ion battery degradation: what you need to know - Physical Chemistry Chemical Physics \(RSC Publishing\) DOI:10.1039/D1CP00359C](#)
- [16] K. Young, S. Yasouka, "Capacity Degradation Mechanisms in Nickel/Metal Hydride Batteries," in Batteries, 2016. [Online]. Available: [Batteries | Free Full-Text | Capacity Degradation Mechanisms in Nickel/Metal Hydride Batteries \(mdpi.com\)](#)
- [17] M. Hassan, S. Saha, E. Haque, S. Islam, A. Mahmud, N. Mendis, "A comprehensive review of battery state of charge estimation techniques," in Sustainable Energy Technologies and Assessments, Dec 2022. [Online]. Available: [A comprehensive review of battery state of charge estimation techniques - ScienceDirect](#)
- [18] E. Garcíá, E. Quiles, A. Correcher and F. Morant, Eds., "Predictive Diagnosis Based on Predictor Symptoms for Isolated Photovoltaic Systems Using MPPT Charge Regulators," in Sensors 2022, Oct. 2022. [Online]. Tillgänglig: https://mdpi-res.com/sensors/sensors-22-07819/article_deploy/sensors-22-07819-v2.pdf?version=1666678474
- [19] [DESIGN-AND-IMPLEMENTATION-OF-A-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-WITH-VARIABLE-OUTPUT.pdf \(researchgate.net\)](#)
[PWM1] C.A. Osaretin and F.O. Edeko, Eds., "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SOLAR CHARGE CONTROLLER WITH VARIABLE OUTPUT," in ResearchGate Journal of Electrical and Electronic Engineering, Nov. 2015. [Online]. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/303683238_DESIGN_AND_IMPLEMENTATION_OF_A_SOLAR_CHARGE_CONTROLLER_WITH_VARIABLE_OUTPUT

- [20] T. Majaw, R. Deka, S. Roy and B. Goswami, Eds., "Solar Charge Controllers using MPPT and PWM: A review," in AJEEE ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering, Feb. 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://journals.dbuniversity.ac.in/ojs/index.php/AJEEE/article/view/547/509>
- [21] L. Huai, Z. Akasah, "A Proposed Standard Design of Solar Street Light System towards Energy Efficiency Development for Managing Facility Planning.," i 8th International Conference on Industrial Technology and Management, Cambridge, UK, 2019 [Online]. Tillgänglig: [IEEE Xplore Full-Text PDF;](#) Hämtad: 2024/03/14.
- [22] Y. Halevi, A. Ray, " Integrated Communication and Control Systems: Part I—Analysis," Mechanical Engineering Department, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA, 110/367, 1988. [Online]. Tillgänglig: <https://www.me.psu.edu/ray/journalAsokRay/1988/044HaleviRayICCS01.pdf>, Hämtad: 2024/03/15.
- [23] M. Repe, I. Pathan, P. Tiwari, V. Tayade, "No Connectivity zone wireless communication and Human Detection using RF Module and PIR sensor," i International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, Bhopal, Indien, 2024,[Online]. Tillgänglig: [IEEE Xplore Full-Text PDF;](#) Hämtad: datum. ;
- [24] S.O. Lundkvist, " Belysningstekniska grundbegrepp," Väg- och trafikinstitutet, Stad (där organisationens huvudkontor befinner sig), Linköping, TF 55-22, 1993. [Online]. Tillgänglig: [FULLTEXT01.pdf \(diva-portal.org\)](#), Hämtad: 2024/03/07.
- [25] I. Mardikaningsih, W. Sutopo, R. Zakaria, M. Nizam, E. Kadir, "Evaluation and Designing Street Lighting with Solar Cell: A Case Study," i 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, Chemical Engineering, Yogyakarta, Indonesia, 2016, [Online]. Tillgänglig: [IEEE Xplore Full-Text PDF;](#) Hämtad: 2024/03/13.
- [26] Selux, "Light for generations," 2024. [Online]. Tillgänglig: [Selux Profile Selux](#) (hämtad:2024/03/02).
- [27] Selux, "Valetta Solar," 2024. [Online]. Tillgänglig: [Valetta Selux](#) (hämtad: 2024/03/02).
- [28] Selux Valetta M produktblad Berlin, Tyskland: Selux, 2023. [Online]. Tillgänglig: [selux-datenblatt-valetta-m-en.pdf](#) Hämtad: 2024/02/14.
- [29] H. Gidlund and R. Henning, privat kommunikation, Jan 2024

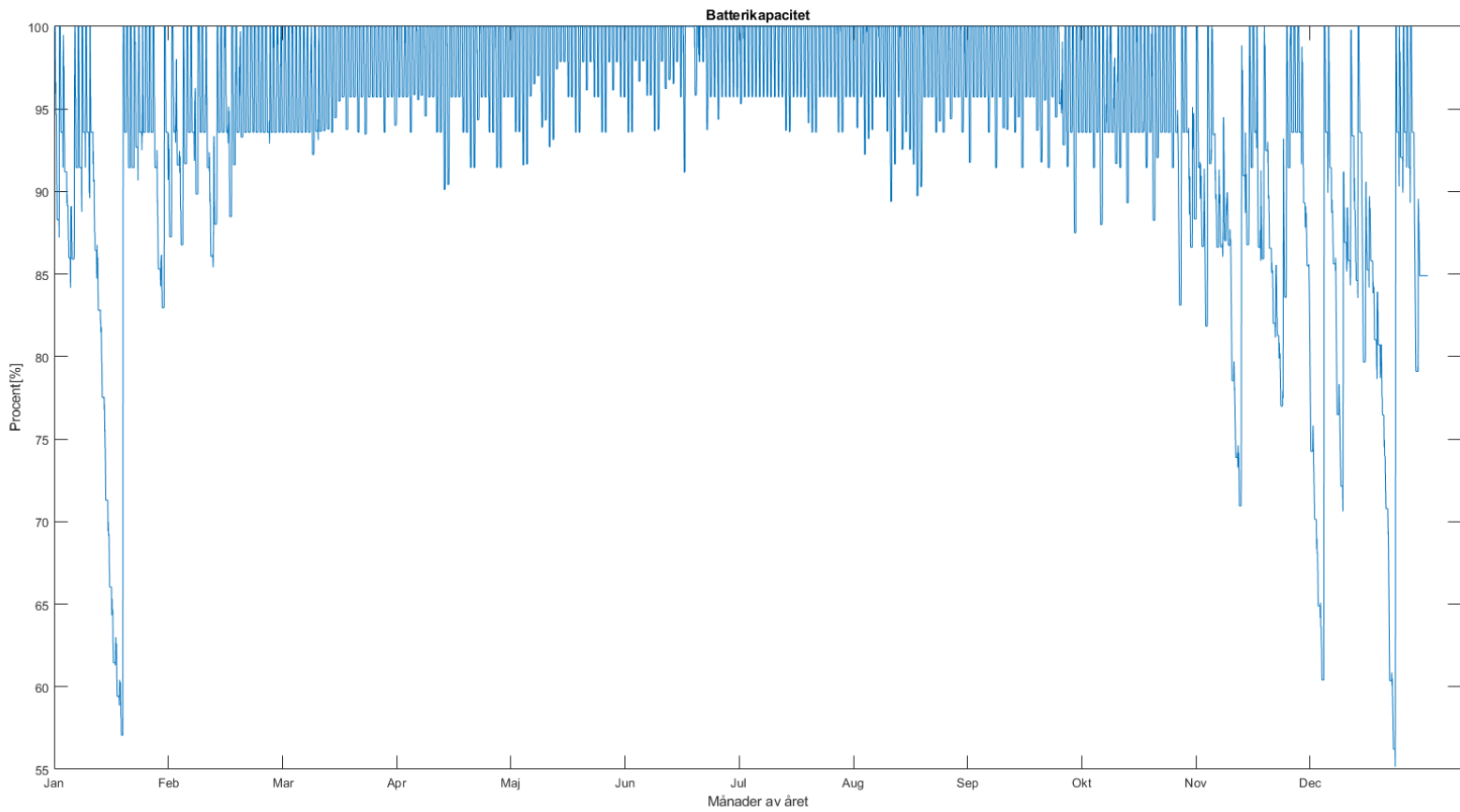
[30] Europa Commission. "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM," re.jrc.ec.europa.eu. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (hämtad jan. 24, 2024).

[31] Waxholmsbolaget, privat kommunikation, Feb 2024.

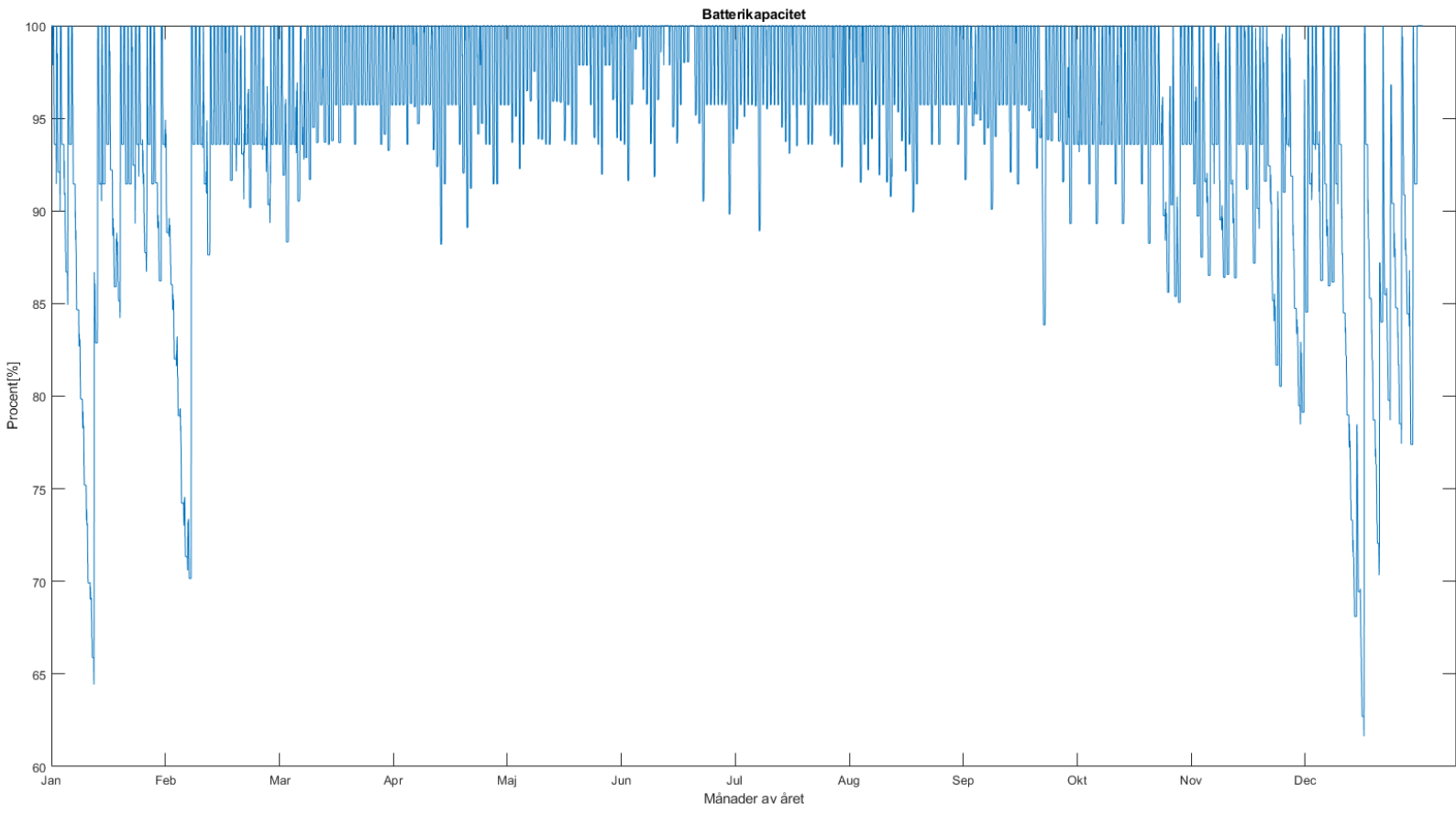
Bilagor

Bilaga A – Grafer från simuleringar

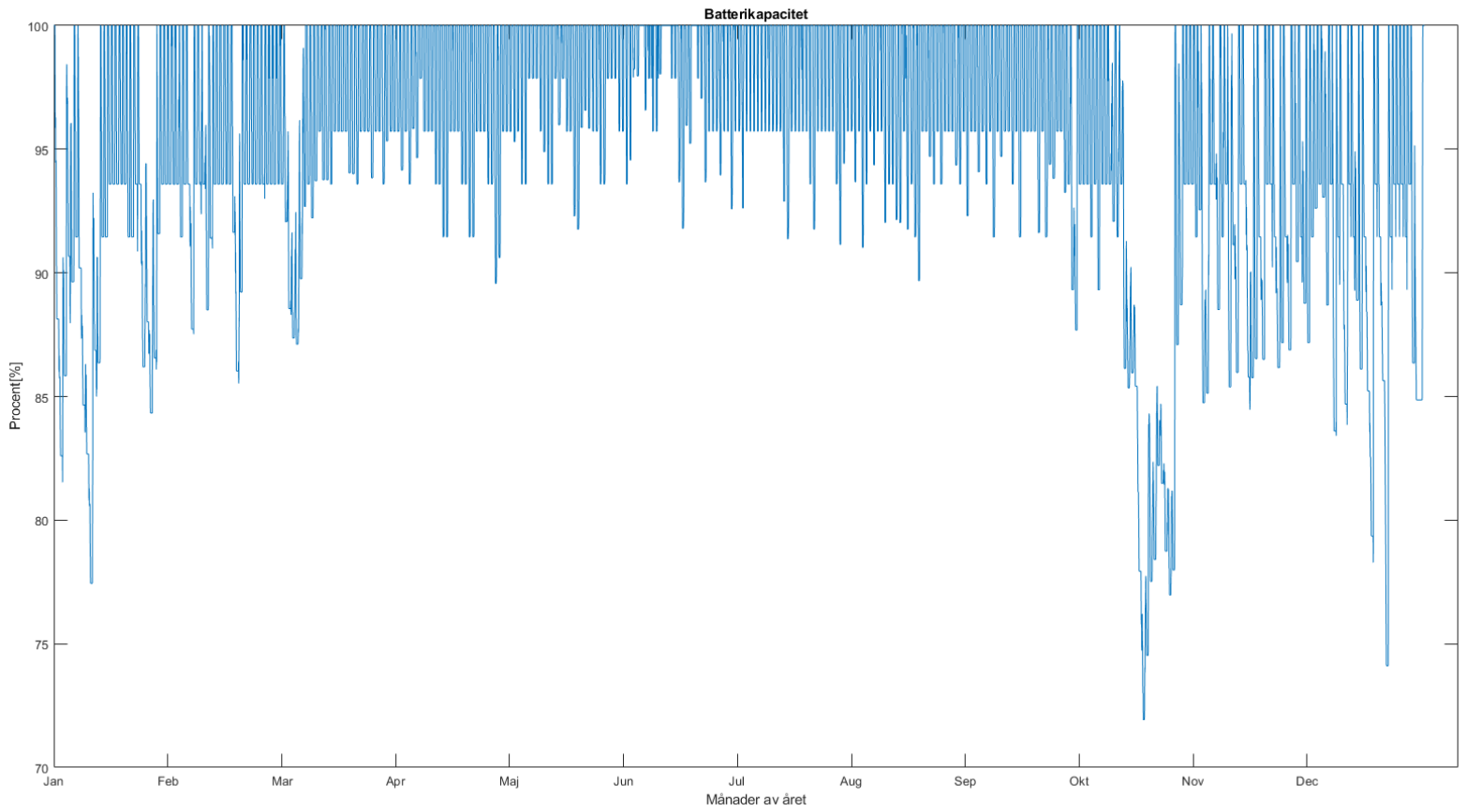
A1 – Enkel kapacitet



Figur.12. Enkelkapacitet för år 2018.

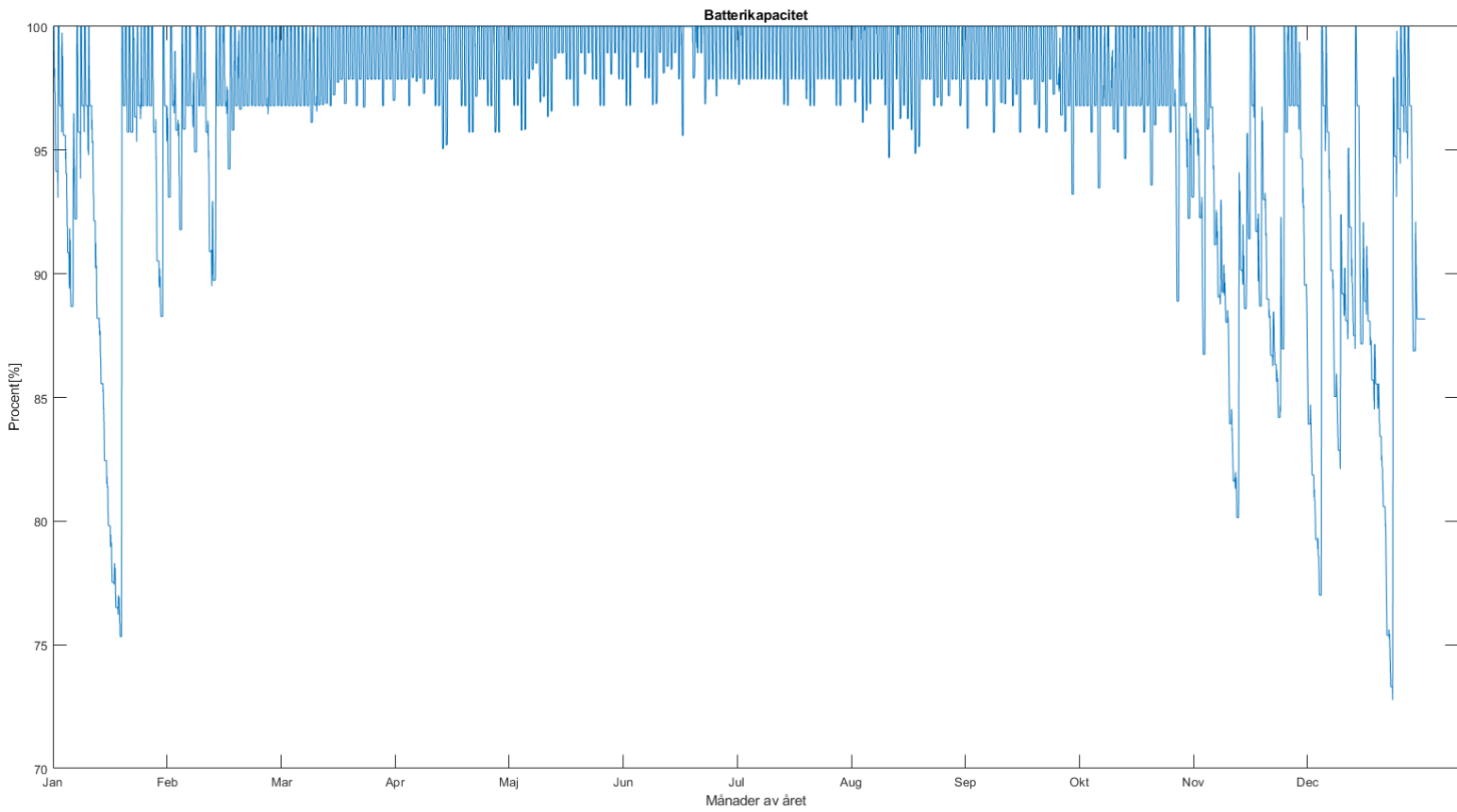


Figur.13. Enkelkapacitet för år 2017.

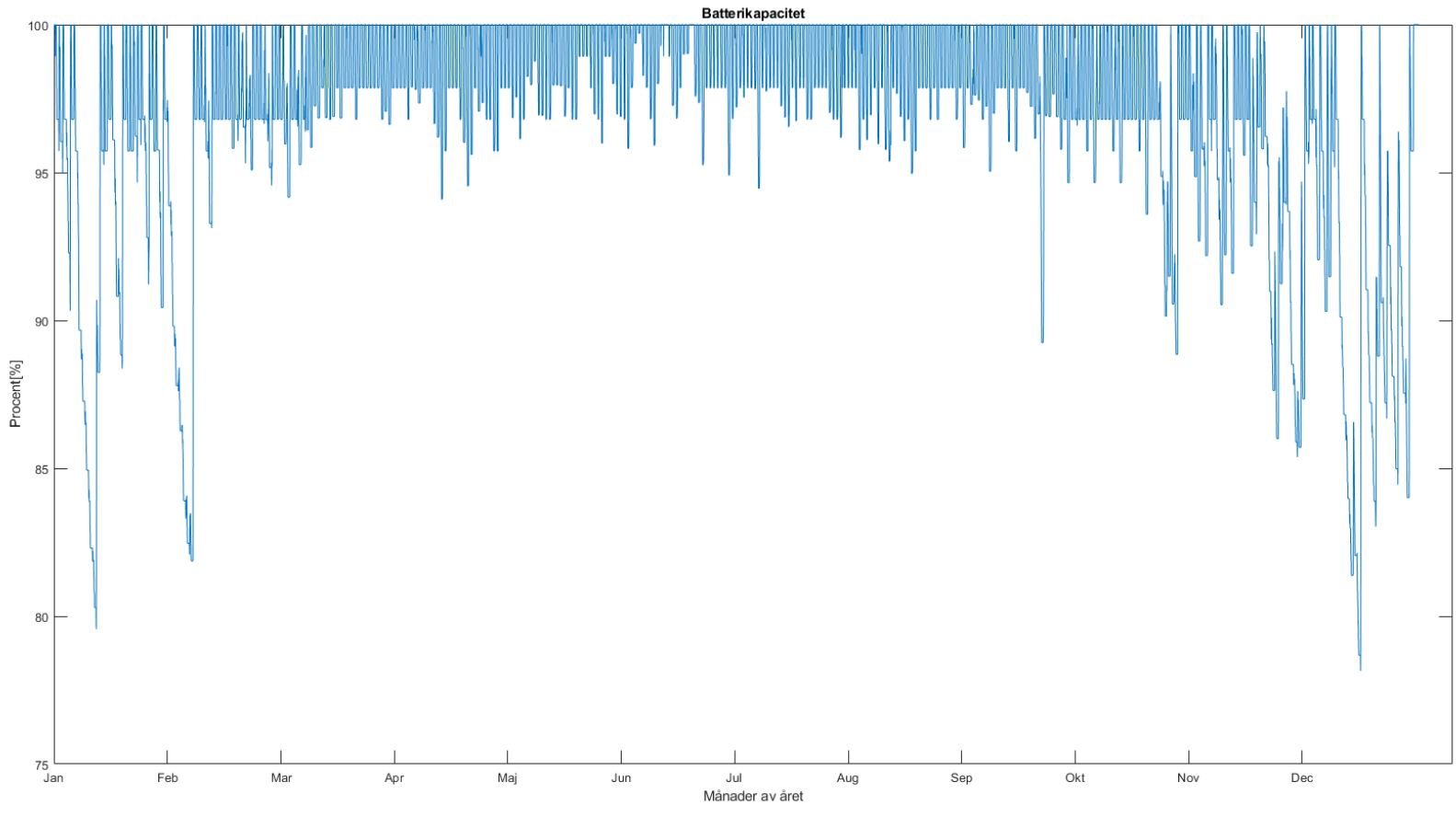


Figur.14. Enkelkapacitet år 2016.

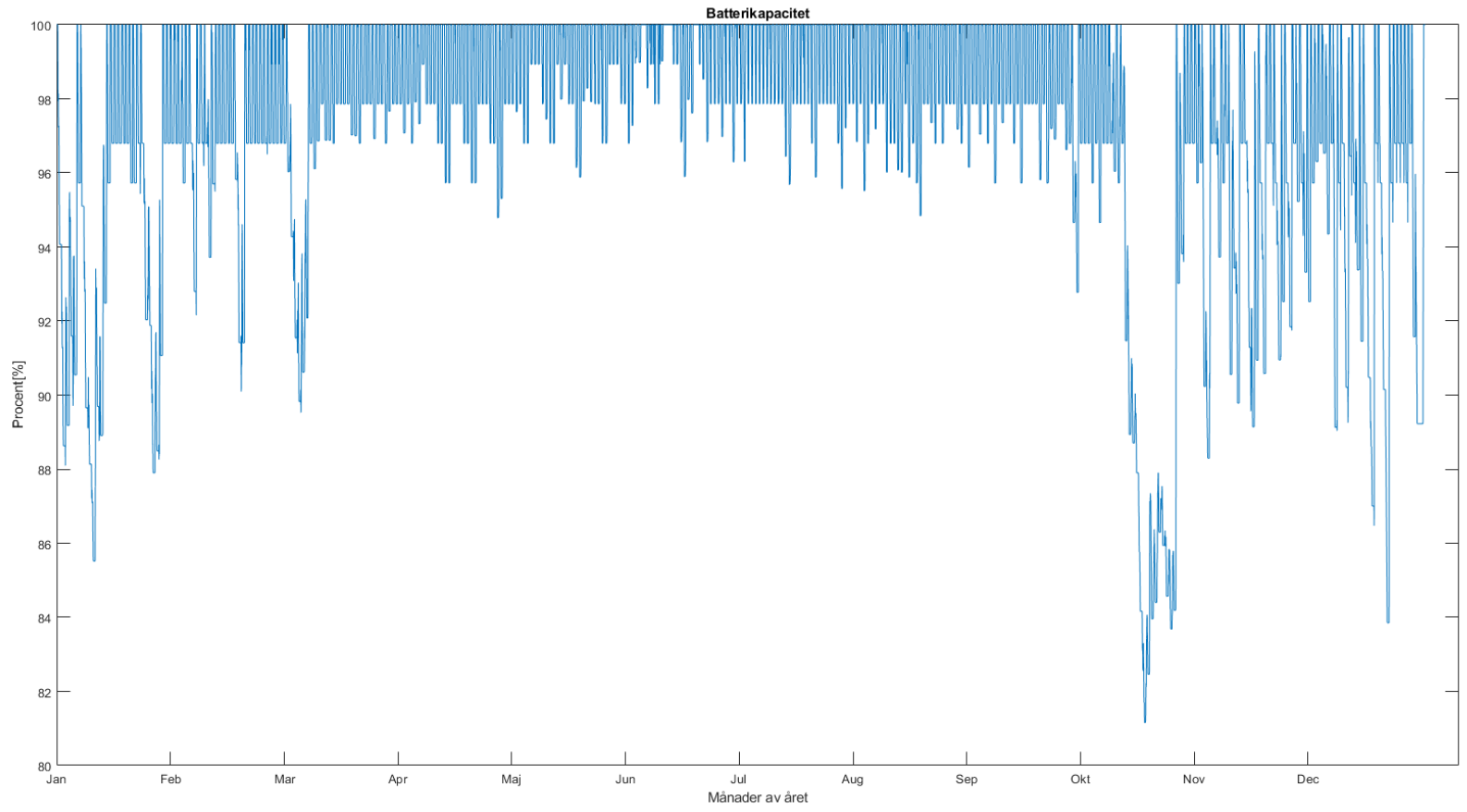
A2 – Dubbel kapacitet



Figur.15. Dubbelkapacitet för år 2018.

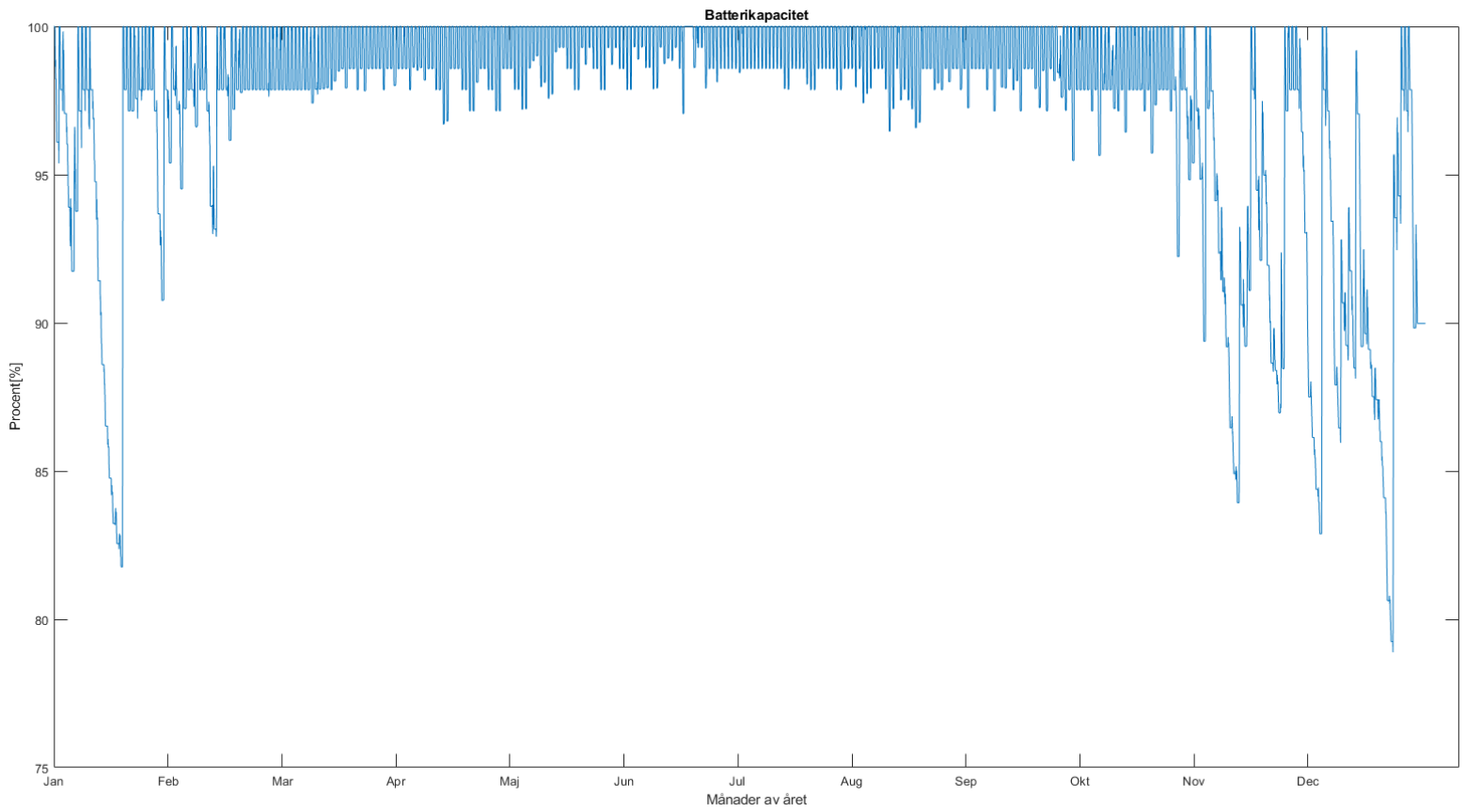


Figur.16. Dubbelkapacitet för år 2017.

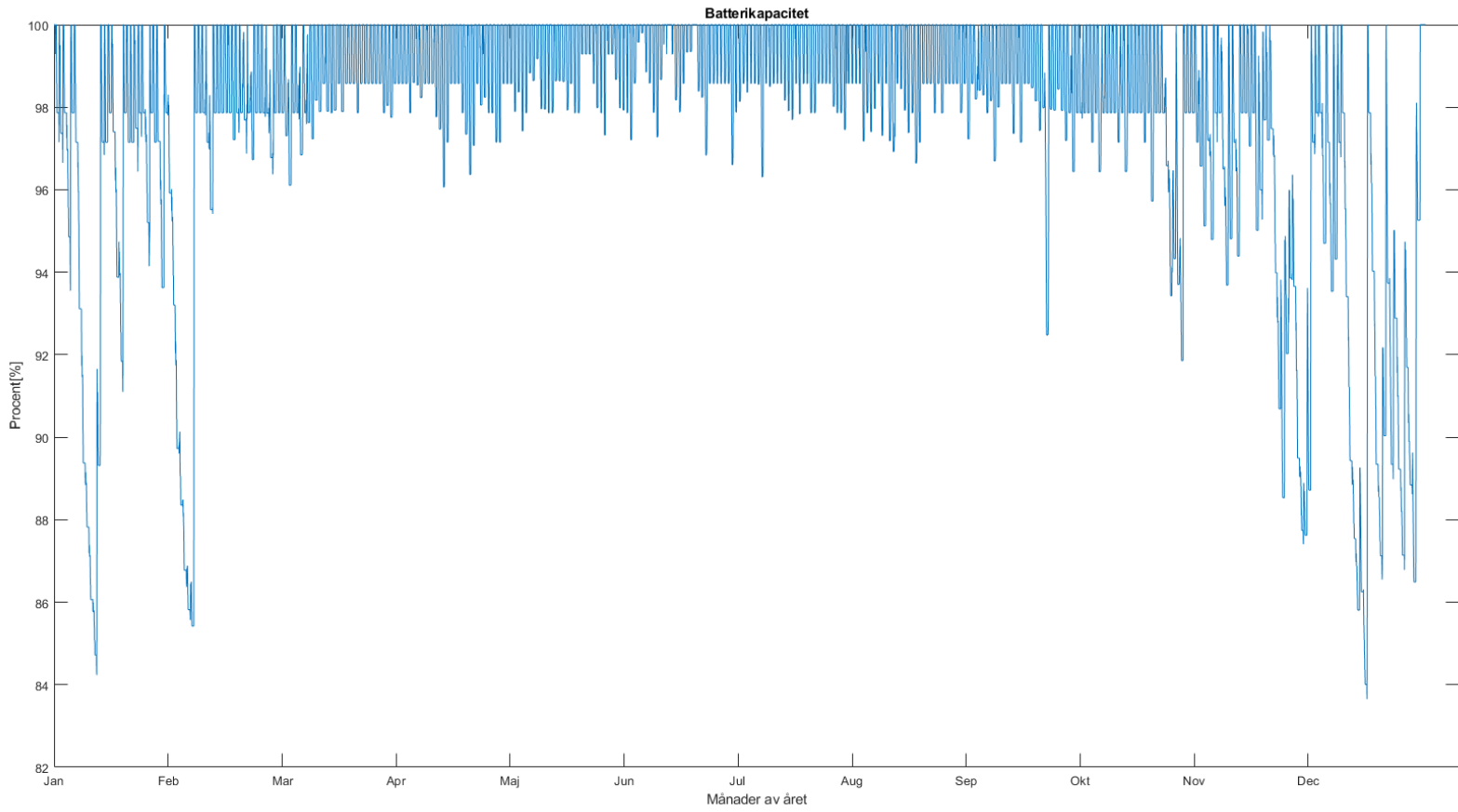


Figur.17. Dubbelkapacitet för år 2016.

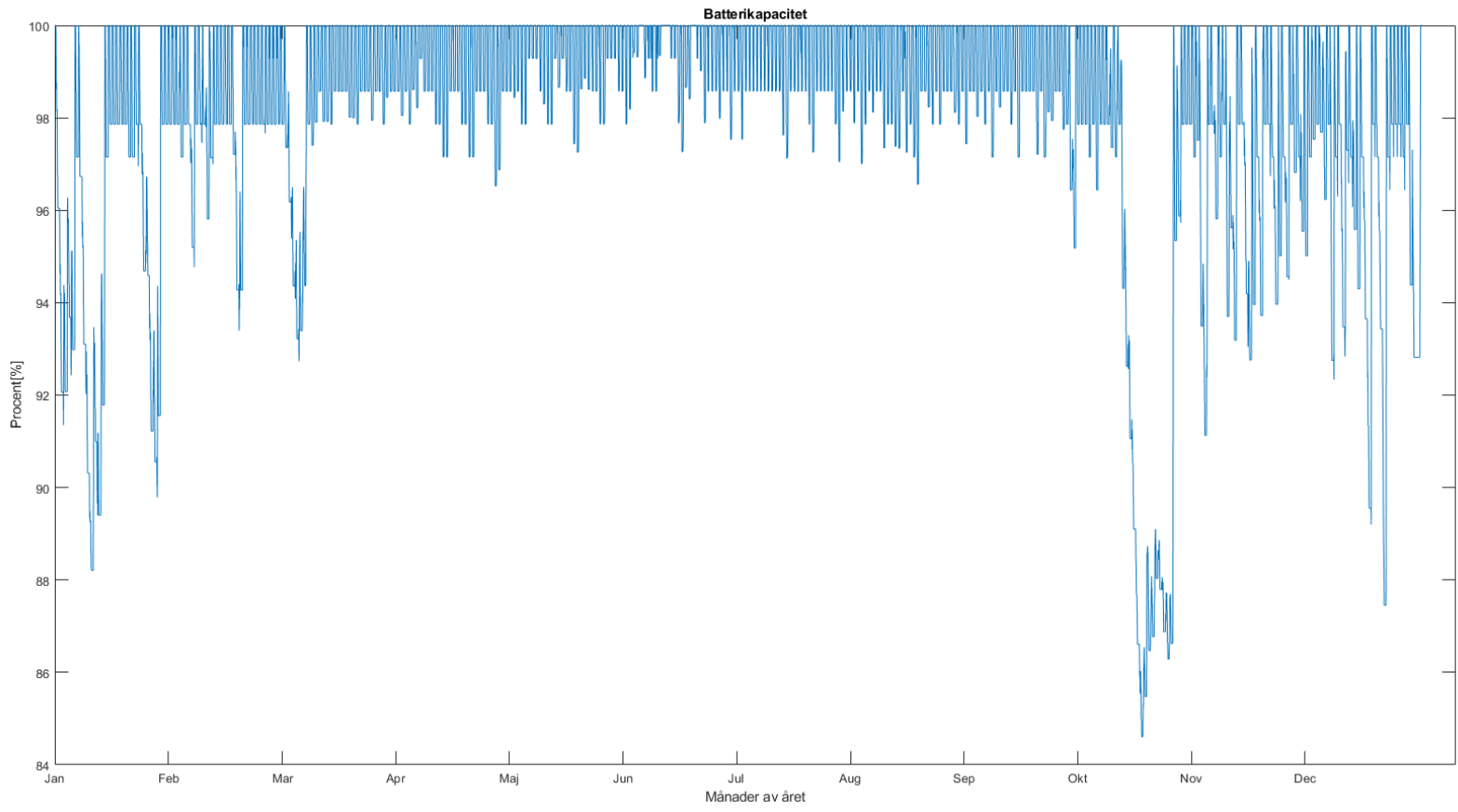
A3 – Trippel kapacitet



Figur.18. Trippelkapacitet för år 2018.



Figur.19. Trippelkapacitet för år 2017.



Figur.20. Trippelkapacitet för år 2016.

Bilaga B – Matlab kod

%Examensarbete Matlab kod

%Variabler

stralning8760hours('Timeseries_59.085_20.xlsx'); %tillkallar funktionen som mäter vilket år som ska simuleras

function [] = stralning8760hours(filnamn) %början av funktionen som simulerar ett år

batterymax = 12*39*3; %batteriets maxkapacitet

vecka=1; %variabel för att hålla koll på vilken vecka som simuleringen befinner sig i

Area=0.67 %Area för solpanelen

j=0; % vilken timme på året det är

Lampkon24hmanjan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion måndag januari till april

Lampkon24htisjan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion tisdag januari till april

Lampkon24honsjan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion onsdag januari till april

Lampkon24htorjan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion torsdag januari till april

Lampkon24hfrejan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion fredag januari till april

Lampkon24hlorjan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion lördag januari till april

Lampkon24hsonjan=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion söndag januari till april

Lampkon24hmanapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion måndag april till juni

Lampkon24htisapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion tisdag april till juni

Lampkon24honsapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion onsdag april till juni

Lampkon24htorapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion torsdag april till juni

Lampkon24hfreapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion fredag april till juni

Lampkon24hlorapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 0]; %Timvis konsumtion lördag april till juni

Lampkon24hsonapr=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion söndag april till juni

Lampkon24hmanjun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion måndag juni till augusti

Lampkon24htisjun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion tisdag juni till augusti

Lampkon24honsjun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion onsdag juni till augusti

Lampkon24htorjun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion torsdag juni till augusti

Lampkon24hfrejun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion fredag juni till augusti

Lampkon24hlorjun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion lördag juni till augusti

Lampkon24hsonjun=10.*[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion söndag juni till augusti

Lampkon24hmanaug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion måndag augusti till december

Lampkon24htisaug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion tisdag augusti till december

Lampkon24honsaug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion onsdag augusti till december

Lampkon24htoraug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0]; %Timvis konsumtion torsdag augusti till december

Lampkon24hfreaug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion fredag augusti till december

```

Lampkon24hloraug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion lördag augusti till
december
Lampkon24hsonaug=10.*[0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0]; %Timvis konsumtion söndag augusti till
december
dag=0; % här sätts vilken dag i veckan det är
    batterywatt=batterymax; % här sätts batteriets energinivå till max vid början av simuleringen
    sprintf(filnamn); %gör om filnamnets namn till en string för att hanteras i readvars funktionen senare
    batteri=1:1:8773; % här sätts batteriets energinivåer för ett år. Energinivån sätts inte till 8760 då excelfilens strålning
    börjar vid rad 13 och för att korrekt mäta alla dagar måste 8760 adderas med 13
    for i= 13:24:8773 %for loop som går igenom varje dag under ett år

        if(i==13+168*vecka)% if sats för att öka veckosiffran för att hålla koll vilken vecka det är, om veckan uppdateras
            vecka=vecka+1;
            dag=0;
        end
        for k=1:1:24
            cellstring= ['C' num2str(i+k) ':' 'C' num2str(i+k)]; %ger range för readvars. Gör om den till en sträng så att readvars
            funktionen kan läsa den
            Gb = readvars(filnamn,'Range', cellstring); %direct radiance, läser variabler från excel fil
            if(str2double(Gb)<100) %Här kollar koden ifall det skiner, om solen skiner behöver inte stolpen lysa och
            konsumera energi, men under sommaren behöver inte den här energisparingsåtgärden utföras då energi inte
            behöver sparas
                if((1<=vecka)&&(vecka<15)) %Här kollar koden vilken månad det är. Waxholms färjor planeras efter perioder på
                året, vilka färjor som åker kommer att bero på vilken period på året som koden befinner sig i så vi har if satser för att
                kolla vilken period som vi befinner oss i
                if (batterywatt<=batterymax*0.9) %kollar om batteripackets energinivå är för låg för att köra full effekt
                    switch(dag)%switch case för halv konsumtion
                        case 0
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area -0.5*Lampkon24hmanjan(k);
                        case 1
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htisjan(k);
                        case 2
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area -0.5*Lampkon24honsjan(k);
                        case 3
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area -0.5*Lampkon24htorjan(k);
                        case 4
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area -0.5*Lampkon24hfrejjan(k);
                        case 5
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area -0.5*Lampkon24hlorjan(k);
                        case 6
                            prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area 0.5*Lampkon24hsonjan(k);
                    end
                else
                    switch(dag)%switch case för vanlig konsumtion
                        case 0

```

```

    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hmanjan(k);
case 1
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htisjan(k);
case 2
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24honsjan(k);
case 3
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htorjan(k);
case 4
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hfrejan(k);
case 5
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hlorjan(k);
case 6
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hsonjan(k);
end
end
end
else
    prodminuskon=str2double(Gb)*0.22*Area; %slutet av if satsen som kollar ifall ljusstrålningen är tillräckligt hög,
    bara produktion sparas då lampan inte lyser
end

```

```

if((15<=vecka)&&(vecka<26)) %kollar vilken period av året som koden befinner sig inom
if (batterywatt<=batterymax*0.9)%kollar om batteripackets energinivå är för låg för att köra full effekt
switch(dag)%switch case för halv konsumtion
case 0
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hmanapr(k);
case 1
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htisapr(k);
case 2
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24honsapr(k);
case 3
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htorapr(k);
case 4
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hfreapr(k);
case 5
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hlorapr(k);
case 6
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hsonapr(k);
end
else
switch(dag)%switch case för vanlig konsumtion
case 0
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hmanapr(k);
case 1
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htisapr(k);

```

```

case 2
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24honsapr(k);
case 3
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htorapr(k);
case 4
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hfreaapr(k);
case 5
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hlorapr(k);
case 6
    prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hsonapr(k);
end
end
end
if((26<=vecka)&&(vecka<34))%kollar vilken period av året som koden befinner sig inom
if (batterywatt<=batterymax*0.9) %kollar om batteripackets energinivå är för låg för att köra full effekt
switch(dag)%switch case för halv konsumtion
    case 0
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hmanjun(k);
    case 1
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htisjun(k);
    case 2
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24honsjun(k);
    case 3
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htorjun(k);
    case 4
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hfrejuna(k);
    case 5
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hlorjun(k);
    case 6
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hsonjun(k);
end
else
switch(dag)%switch case för vanlig konsumtion
    case 0
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hmanjun(k);
    case 1
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htisjun(k);
    case 2
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24honsjun(k);
    case 3
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htorjun(k);
    case 4
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hfrejuna(k);
    case 5
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hlorjun(k);

```

```

    case 6
        prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hsonjun(k);
    end
end
end
if(str2double(Gb)<100)%Här kollar koden ifall det skiner, om solen skiner behöver inte stolpen lysa och konsumera
energi, men under sommaren behöver inte den här energisparingsåtgärden utföras då energi inte behöver sparas
if((34<=vecka)&&(vecka<=52))%kollar vilken period av året som koden befinner sig inom
    if (batterywatt<=batterymax*0.9) %kollar om batteripackets energinivå är för låg för att köra full effekt
        switch(dag)%switch case för halv konsumtion
            case 0
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hmanaug(k);
            case 1
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htisaug(k);
            case 2
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24honsaug(k);
            case 3
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24htoraug(k);
            case 4
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hfreaug(k);
            case 5
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hloraug(k);
            case 6
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-0.5*Lampkon24hsonaug(k);
        end
    else
        switch(dag)%switch case för vanlig konsumtion
            case 0
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hmanaug(k);
            case 1
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htisaug(k);
            case 2
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24honsaug(k);
            case 3
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24htoraug(k);
            case 4
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hfreaug(k);
            case 5
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hloraug(k);
            case 6
                prodminuskon = str2double(Gb)*0.22*Area-Lampkon24hsonaug(k);
        end
    end
end
end

```

```

else
    prodminuskon=str2double(Gb)*0.22*Area;%slutet av if satsen som kollar ifall ljusstrålningen är tillräckligt hög,
bara produktion sparas då lampan inte lyser
end
if prodminuskon<0 %kollar ifall konsumtion är större än produktion
    batterywatt=batterywatt+(prodminuskon); %ändrar energinivån av batteripacket
    if(batterywatt<0) %om energinivån blir minus sätter if satsen till 0% istället för minus procent
        batterywatt=0;
    end
end
if (prodminuskon>0)%kollar ifall produktionen är mer än konsumtionen
    batterywatt= batterywatt+0.94*prodminuskon; %adderar energinivån till batteripacket. Här antas 6% förlust
på grund av omriktaren av DC till AC i solpanelen och sen till DC igen som går in i batteriet
    if( batterymax<batterywatt)
        batterywatt=batterymax; %om energinivån går över max kapaciteten sätts batteripackets energinivå till
maximala kapaciteten
    end
end

j=j+1;% här adderas vilken timme på året som simuleras
batteri(j)=(batterywatt/batterymax)*100;% här sätts batteripackets energinivå per timme per år i procent
end
dag=dag+1;% här adderas dagen på veckan
disp(j);% här visas vilken timme på året som simuleras, sker i 24 timmars intervall
end
figure(3)% här plottas batteripackets energinivå
plot(1:1:8784,batteri);
title('Batterikapacitet');
set(gca,'xtick', 1:730:8760,...
'xticklabel',{'Jan','Feb','Mar','Apr','Maj','Jun','Jul','Aug','Sep','Okt','Nov','Dec'});
xlabel ('Månader av året');
ylabel('Procent[%]');
end

```

Bilaga C – Tidtabeller för Årsta brygga

GÄLLER 6 APRIL 2023 – 22 JUNI 2023

21A ÅRSTA – UTÖ

DAG	MÅNDAG	TI-TO	MÅNDAG-TORS DAG			TORS DAG	FREDAG				
FARTYGG	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN
TURNUMMER	2101	2103	2105	2107	2109	2111	2121	2123	2125	2127	2129
ANMÄRKNING											
Årsta brygga	08.25	08.25	11.00	15.25	17.55	21.25	08.25	11.00	15.25	17.25	18.55
Gruvbryggan (Utö)	09.40z	09.20z	11.40	16.20z	18.35	22.05	09.40z	11.40	16.20z	18.20	19.35
Näsudden (Utö)	09.22z	09.07z	X	16.07z	X	X	09.22z	X	16.07z	X	X
Spränga (Utö)	09.20z	09.05z	11.55	16.05z	18.50	22.20	09.20z	11.55	16.05z	18.40	19.50

DAG	LÖRDAG				SÖNDAG							
FARTYGG	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN
TURNUMMER	2151	2161	2153	2163	2155	2157	2171	2181	2173	2183	2175	2177
ANMÄRKNING		V		V				V		V		
Årsta brygga	09.20	10.20	11.20	12.30	15.35	18.30	09.20	10.20	11.20	13.30	15.35	18.30
Gruvbryggan (Utö)	10.00	11.15	12.00	13.25	16.15	19.10	10.00	11.15	12.00	14.25	16.15	19.10
Näsudden (Utö)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Spränga (Utö)	10.15	11.35	12.15	13.45	16.30	19.25	10.15	11.35	12.15	14.45	16.30	19.25

Bilaga C:1A. Tidtabeller vårperiod år 2023. Från [31].

GÄLLER 6 APRIL 2023 – 22 JUNI 2023

21B UTÖ – ÅRSTA

DAG	MÅNDAG	TISDAG-TORS DAG	MÅNDAG	MÅNDAG-TORS DAG	TORS DAG	FREDAG						
FARTYGG	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II
TURNUMMER	2102	2104	2103	2106	2108	2110	2112	2120	2122	2124	2126	2137
ANMÄRKNING												V
Spränga (Utö)	06.20	06.40	09.05	10.00	14.25	16.50z	20.30	06.25	10.00	14.25	16.50z	18.40z
Näsudden (Utö)	X	X	X	X	X	16.47z	X	X	X	X	16.47z	18.36z
Gruvbryggan (Utö)	06.40	06.55	09.20	10.15	14.40	16.35z	20.45	06.45	10.15	14.40	16.35z	18.20z
Årsta brygga	07.35	07.35	10.00	10.55	15.20	17.30	21.25	07.35	10.55	15.20	17.30	19.35

DAG	LÖRDAG				SÖNDAG								
FARTYGG	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN
TURNUMMER	2150	2152	2161	2154	2160	2156	2158	2170	2172	2180	2174	2176	2178
ANMÄRKNING			V		V					V			
Spränga (Utö)	07.35	10.15	11.35z	14.35	15.15	16.35	19.35	07.35	10.15	12.10	14.35	16.35	19.35
Näsudden (Utö)	X	X	11.31z	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gruvbryggan (Utö)	07.50	10.30	11.15z	14.50	15.35	16.50	19.50	07.50	10.30	12.30	14.50	16.50	19.50
Årsta brygga	08.30	11.10	12.30	15.30	16.30	17.30	20.30	08.30	11.10	13.25	15.30	17.30	20.30

Bilaga C:1B. Tidtabeller vårperiod år 2023. Från [31].

21A ÅRSTA – UTÖ

DAG	MÅNDAG-TORSDAG								FREDAG							
FARTYG	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II		
TURNUMMER	2101	2103	2105	2107	2109	2111	2113	2115	2121	2123	2125	2127	2129	2131	2133	2135
ANMÄRKNING																
Årsta brygga	08.25	10.25	11.25	12.20	14.55	16.25	17.55	19.20	08.25	10.25	11.25	12.20	14.55	16.25	17.55	19.20
Gruvbryggan (Utö)	09.05	11.20	12.05	13.15	15.35	17.20	18.35	20.35z	09.05	11.20	12.05	13.15	15.35	17.20	18.35	20.35z
Näsudden (Utö)	X		X	X	X	X	X	20.18z	X		X	X	X	X	X	20.18z
Spränga (Utö)	09.25		12.20	13.35	15.50	17.40	18.50	20.15z	09.25		12.20	13.35	15.50	17.40	18.50	20.15z

DAG	LÖRDAG								SÖNDAG							
FARTYG	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II		
TURNUMMER	2151	2153	2155	2157	2159	2161	2163	2165	2171	2173	2175	2177	2179	2181	2183	
ANMÄRKNING																
Årsta brygga	09.25	10.55	11.55	13.20	15.05	16.30	17.55	19.20	09.25	10.55	11.55	13.20	15.05	16.30	19.20	
Gruvbryggan (Utö)	10.05	11.50	12.35	14.15	15.45	17.25	18.35	20.35z	10.05	11.50	12.35	14.15	15.45	17.25	20.35z	
Näsudden (Utö)	X	X	X	X	X	X	X	20.18z	X	X	X	X	X	X	20.18z	
Spränga (Utö)	10.25	12.10	12.50	14.35	16.00	17.45	18.50	20.15z	10.25	12.10	12.50	14.35	16.00	17.45	20.15z	

Bilaga C:2A. Tidtabeller sommarperiod år 2023. Från [31].

21B UTÖ – ÅRSTA

DAG	MÅNDAG-TORSDAG								FREDAG							
FARTYG	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	
TURNUMMER	2102	2104	2106	2108	2110	2112	2114	2115	2120	2122	2124	2126	2128	2130	2132	2135
ANMÄRKNING																
Spränga (Utö)	06.35	10.05		13.35	15.10	16.30	17.45	20.15	06.35	10.05		13.35	15.10	16.30	17.45	20.15
Näsudden (Utö)	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Gruvbryggan (Utö)	06.50	10.20	11.20	13.50	15.30	16.50	18.05	20.35	06.50	10.20	11.20	13.50	15.30	16.50	18.05	20.35
Årsta brygga	07.30	11.00	12.15	14.30	16.20	17.30	19.00	21.30	07.30	11.00	12.15	14.30	16.20	17.30	19.00	21.30

DAG	LÖRDAG								SÖNDAG							
FARTYG	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	
TURNUMMER	2150	2152	2153	2154	2156	2158	2161	2165	2170	2172	2173	2174	2176	2178	2181	2183
ANMÄRKNING																
Spränga (Utö)	08.05	10.35	12.10z	14.05	15.10	16.30	17.45z	20.15	08.05	10.35	12.10z	14.05	15.10	16.30	17.45z	20.15
Näsudden (Utö)	X	X	12.05z	X	X	X	17.40z	X	X	X	12.05z	X	X	X	17.40z	X
Gruvbryggan (Utö)	08.20	10.50	11.50z	14.20	15.30	16.50	17.25z	20.35	08.20	10.50	11.50z	14.20	15.30	16.50	17.25z	20.35
Årsta brygga	09.00	11.30	13.05	15.00	16.25	17.30	18.35	21.30	09.00	11.30	13.05	15.00	16.25	17.30	18.35	21.30

Bilaga C:2B. Tidtabeller sommarperiod år 2023. Från [31].

21A ÅRSTA – UTÖ

DAG	MÅNDAG	TI-TO	MÅNDAG-TORS DAG				TORS DAG	FREDAG			
FARTYG	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN
TURNUMMER	2101	2103	2105	2107	2109	2111	2121	2123	2125	2127	2129
ANMÄRKNING	G						G				
Årsta brygga	08.25	08.25	11.00	15.25	17.55	21.25	08.25	11.00	15.25	17.25	19.05
Gruvbryggen (Utö)	09.40z	09.20z	11.40	16.20z	18.35	22.05	09.40z	11.40	16.15z	18.05	19.45
Näsudden (Utö)	09.23z	09.07z	X	16.07z	X	X	09.23z	X	16.02z	X	X
Språngra (Utö)	09.20z	09.05z	11.55	16.05z	18.50	22.20	09.20z	11.55	16.00z	18.20	20.00

DAG	LÖRDAG						SÖNDAG					
FARTYG	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN
TURNUMMER	2151	2161	2153	2163	2155	2157	2181	2171	2183	2173	2175	2177
ANMÄRKNING	H		H		H		H					
Årsta brygga	09.20	10.20	11.20	12.30	15.35	18.30	09.20	10.20	11.20	13.35	15.35	17.30
Gruvbryggen (Utö)	10.00	11.15	12.00	13.25	16.15	19.10	10.10	11.00	12.15	14.15	16.15	18.10
Näsudden (Utö)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Språngra (Utö)	10.15	11.35	12.15	13.45	16.30	19.25	10.30	11.15	12.35	14.30	16.35	18.30

Bilaga C:3A. Tidtabeller höstperiod år 2023. Från [31].

21B UTÖ – ÅRSTA

DAG	MÅNDAG	TISDAG-TORS DAG	MÅNDAG	MÅNDAG-TORS DAG	TORS DAG	FREDAG						
FARTYG	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN ELLER UTÖ EXPRESS	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN
TURNUMMER	2102	2104	2103	2106	2108	2110	2112	2120	2122	2124	2125	2127
ANMÄRKNING												
Språngra (Utö)	06.20	06.40	09.05	10.00	14.25	16.50z	20.30	06.20	10.00	14.25	16.00	18.20z
Näsudden (Utö)	X	X	X	X	X	16.46z	X	X	X	X	X	18.16z
Gruvbryggen (Utö)	06.40	06.55	09.20	10.15	14.40	16.35z	20.45	06.40	10.15	14.40	16.15	18.05z
Årsta brygga	07.35	07.35	10.00	10.55	15.20	17.30	21.25	07.35	10.55	15.20	16.55	19.00

DAG	LÖRDAG						SÖNDAG					
FARTYG	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	WAXHOLM II	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN	SILVERPILEN
TURNUMMER	2150	2152	2161	2154	2162	2156	2170	2181	2172	2174	2175	2177
ANMÄRKNING	H		H		H		H		FK			
Språngra (Utö)	07.35	10.15	11.35z	13.35	15.15	16.35	08.35	10.30z	12.35	14.35	16.35z	18.30z
Näsudden (Utö)	X	X	11.30z	X	X	X	X	10.25z	X	X	16.27z	18.22z
Gruvbryggen (Utö)	07.50	10.30	11.15z	13.50	15.35	16.50	08.50	10.10z	12.50	14.50	16.15z	18.10z
Årsta brygga	08.30	11.10	12.30	14.30	16.30	17.30	09.30	11.20	13.30	15.30	17.15	19.10

Bilaga C:3B. Tidtabeller höstperiod år 2023. Från [31].

21A ÅRSTA – UTÖ

DAG	MÅNDAG-TORSDAG					TORSDAG	FREDAG				LÖRDAG			SÖNDAG					
FARTYG	WAXHOLM II	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	UTÖ TAXI	UTÖ EXPRESS	SKARPO	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II			
TURNUMMER	2101	2103	2105	2107	2131	2109	2149	2121	2123	2125	2127	2151	2153	2155	2171	2173	2191	2175	
ANMÄRKNING	G		G			H	I	G							W	S	W		
Årsta brygga	08.20	11.00	15.50	18.00		21.25	21.25	08.20	11.00	15.50	18.25	10.20	15.35	18.30	10.20	16.20	16.20	18.30	
Gruvbryggan (Utö)	09.30z	11.55	16.45		19.05z			09.30z	11.55	16.45	19.20	11.15	16.30	19.25	11.15	17.35z	17.15	19.25	
Näsudden (Utö)	09.12z	X	X	X		Xb	Xb	09.12z	X	X	X	X	X	X	X	X	17.17z	X	X
Språnga (Utö)	09.10z	12.15	17.05	18.50	18.53z	22.05	22.15	09.10z	12.15	17.05	19.40	11.35	16.50	19.45	11.35	17.15z	17.35	19.45	

ANMÄRKNING TUR

G Gods ombord, förseningar på upp till 30 minuter kan förekomma.
H Går under isfri period.
I Går under isperiod.
S Går endast juldagen 25 december.
W Går inte julafton 24 december, juldagen 25 december och nyårsafton 31 december.

ANMÄRKNING BRYGGA

X Bryggarna trafikeras utan fast avgångstid. Bryggan trafikeras inte.
I Bryggan trafikeras inte.
b Beställ resan i Waxholmsbolagets app eller via kundtjänst 08-600 10 00 minst 1 timme innan avgång från aktuell brygga, dock senast kl. 17.00.
z Bryggan trafikeras i omvänd ordning.

Bilaga C:4A. Tidtabeller vinterperiod år 2023. Från [31].

21B UTÖ – ÅRSTA

DAG	MÅNDAG-TORSDAG					TORSDAG	FREDAG				LÖRDAG			SÖNDAG				
FARTYG	UTÖ TAXI	WAXHOLM II	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	WAXHOLM II UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	UTÖ EXPRESS EL. SKARPO	UTÖ TAXI	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II	WAXHOLM II		
TURNUMMER	2132	2102	2104	2106	2105	2110	2134	2120	2122	2124	2125	2150	2152	2154	2170	2181	2172	2173
ANMÄRKNING	C						C								Q	A	J	W
Språnga (Utö)	06.37z	06.40	10.05z	14.15	17.05z	20.35	06.37z	06.40	10.05z	14.15	17.05z	08.15	14.15	17.15	08.15	11.35z	14.15	17.15
Näsudden (Utö)		X	10.00z	X	17.00z	X		X	10.00z	X	17.00z	X	X	X	X	X	11.30z	X
Gruvbryggan (Utö)	06.29z		09.45z	14.35	16.45z		06.29z		09.45z	14.35	16.45z	08.35	14.35	17.35	08.35	11.15z	14.35	17.35
Årsta brygga		07.35	10.55	15.25	17.55	21.25		07.35	10.55	15.25	18.00	09.30	15.30	18.30	09.30	12.30	15.30	18.30

Bilaga C:4B. Tidtabeller vinterperiod år 2023. Från [31].