EXAMENSARBETE INOM ELEKTROTEKNIK,
GRUNDNIVÅ, 15 HP

STOCKHOLM, *SVERIGE 2019*

Solcellsdriven belysning för gång- och cykelvägar på landsbygden

Solar street lighting in countryside walk and cycle paths

ADOLFO MARTINEZ PEÑA

KTH
SKOLAN FÖR KEMI, BIOTEKNOLOGI OCH HÄLSA

Solcellsdriven belysning för gång- och cykelvägar på landsbygden

Solar street lighting in countryside walk and cycle paths

Adolfo Martinez Peña

Examensarbete inom
Elektroteknik,
Grundnivå, 15 hp
Handledare på KTH: Torgny Forsberg
Examinator: Elias Said
TRITA-CBH-GRU-2019:127

KTH
Skolan för kemi, bioteknologi och hälsa
141 52 Huddinge, Sverige

Sammanfattning

I detta examensarbete utreds förutsättningarna för solcellsdriven belysning som belysningsalternativ för gång- och cykelvägar på landsbygden. Det finns gång- och cykelvägar i landsbygden som sällan trafikeras, detta gör att kommuner och vägföreningar lämnar dem utan belysning. Därför är det önskvärt att kunna erbjuda en belysningsteknik som har noll elkostnader och ingen kabeldragning.

Studiens hypotes var att solcellsdriven belysningsanläggningar kan rekommenderas som gatubelysning för gång- och cykelvägar på landsbygden. Resultaten visar att Sveriges låga solinstrålning är den största utmaningen för att öka investeringsviljan hos kommuner och vägföreningar. För att öka energibesparing hos solcellsdriven belysning behövs därför avancerad närvarostyrd teknik. Tidigare installerad solcellsbelysning har visat positiv resultat.

Resultaten visar också att belysningsanläggning med närvarostyrd solcellsbelysning kan ge en ekonomisk besparing på upptill 58 % jämfört med en nätansluten LED-belysning. Besparingen varierar beroende typ av solcellsbelysning som används i belysningsanläggningen. Solcellsdriven belysningsteknik minskar också koldioxidutsläpp.

Nyckelord
Solcellsdriven belysning, gång- och cykelvägar i landsbygden, närvarostyrning, dimmer, livscykelkostnader

Abstract
In this thesis the solar-powered lightning are investigated as lightning options for walk and cycle paths in countryside. Rarely used walk and bicycle paths in the countryside are left without lighting by municipalities and roads associations. Therefore, it is desirable to offer a lightning technology that has zero electricity costs and no cable routing.

The study's hypothesis was that solar-powered lightning installations can be recommended as street lightning for walk and cycle paths in the countryside. results show that solar radiation in Sweden is low which makes it difficult for Sweden's municipalities and associations willing to invest. To increase energy savings in solar lighting system, advanced presence-controlled technology is needed.

The results show that presence-controlled solar lightning can provide an economical saving of 58 % compared to a LED network connected lightning. The saving vary depending on the type of solar lightning used. Solar LED street lighting technology also reduces carbon dioxide emissions.

Keywords
Solar lighting, walk and cycle paths in the countryside, presence-control, dimmer, life cycle costs

Akronymer

GC-vägar - Gång- och cykelvägar

VGU - Väg och gators utformning

PV’s - Photovoltaic Solar Cells

VRLA - Valve Regulated Lead Acid Batteries

ISSL - Integrated Solar Street Light

LCC - Livscykelkostnadskalkyl

LED - Lysdiod

Innehållsförteckning

1 Inledning ... 1
1.1 Problemformulering ... 1
1.2 Målsättning ... 1
1.3 Avgränsningar ... 1
2 Bakgrund ... 3
3 Teori ... 5
3.1 Solcellsbelysning ... 5
3.2 Solpaneler ... 7
3.3 Batterier ... 9
3.4 Lampor ... 11
3.5 Solcellsbelysning i Sverige ... 12
3.6 Beräkning av solcellsbelysning ... 16
3.7 Gång- och cykelvägar på landsbygden ... 18
3.8 Cykeltrend runt om i landet ... 19
4 Metod ... 21
5 Resultat ... 23
5.1 Solcellsbelysning i Sverige ... 23
5.2 Solinstrålning ... 25
5.3 Dimensionering av en ideal solcellsbelysning ... 26
5.4 Ekonomi ... 28
5.5 Solcellsbelysning i Nederländerna ... 31
6 Analys och diskussion ... 33
6.1 Ekonomi ... 33
6.2 Miljö ... 34
6.3 Nätansluten solcellsdriven belysning ... 35
6.4 Framtida arbeten ... 35
7 Slutsats ... 37
Källförteckning ... 39
Bilaga 1 ... 43

1 Inledning

1.1 Problemformulering

Svenska regeringen från 2016 har satt flera miljömål, bland annat att driva fram mer förnybar energi till år 2020 [1]. För att klara dessa mål krävs miljöfrämjande lösningar i existerande teknik. Solcellstekniken har funnits länge på marknaden och dess utveckling är i rätt riktning mot utvecklingen. Genom omvandling av solstrålande energi till elektrisk energi blir det även möjligt att använda solcellsteknik för belysning [2].

Svårighet med solcellsbelysning i svenskt klimat kan vara instabiliteten vid mörka och mulna klimatförhållanden. Däremot kan solcellsbelysning vara ett alternativ på vägar som sällan trafikeras. Gång- och cykelvägar på landsbygden är exempel på sådana vägar vilket gör dem till bra studieobjekt. Denna typ av väg lämnas ibland utan belysningsanläggning. Oftast beror det på kommuners dåliga planering, beslut eller låg budget.

Studiens hypotes är att solcellsdriven belysningsanläggningar kan rekommenderas som gatubelysning för gång- och cykelvägar på landsbygden. Det är därför önskvärt att kunna presentera och jämföra hur olika tekniska lösningar och komponenter förbättrar solcellsbelysning i svenskt klimat. En kombination med dimmerfunktion eller avancerad närvarostyrd teknik kan öka energibesparingen hos solcellsdriven belysning. Detta innebär att investerare behöver teknisk förståelse inom olika solcellsbelysningsarmaturer. Därför är det viktigt att utifrån studiens resultat rekommendera varför gång- och cykelvägar på landsbygden är en bra plats för denna typ av förnybara belysningsteknik.

1.2 Målsättning

Målet med examensarbetet är att föreslå om solcellsdriven belysning är ett belysningsalternativ för gång- och cykelvägar på landsbygden. Utifrån litteraturstudier ska rapporten innehålla teknisk information om solcellsbelysning som finns i marknaden och hur de genom kombination med annan teknik kan bli effektiv i svenskt klimat. Ekonomiska förutsättningarna kommer behandlas, som att jämföra traditionell gatubelysning med solcellsbelysningskostnader. I rapporten ska även förslag om var i Sverige det blir mest lämplig med solcellsbelysning på landsbygden.
Målet är också att den som investerar inom solcellsdriven belysning ska förstå hur olika typer av solcellsbelysning fungerat runt om i landet. Därför är en målsättning att investeraren ska få teknisk förståelse för solcellsdriven belysning. I projektet ska även en analys göras för de olika ekonomiska stöden en investerare har rätt till.

1.3 Avgränsningar

Projektet berör endast självförsörjande solcellsbelysning.

2 Bakgrund

För att spara pengar tvingas ibland kommuner att släcka delar av sin belysning eller i värsta fall helt strunta i att byta ut gammal belysning. Belysningsbudget med många miljoner i underskott gör att beslut som släckning kan bli ett krav. Med färre brottsförebyggande vägar ökar även otrygghet och missnöje bland invånare. Vilket i längden kan kräva att besluten måste ersättas med dyra och snabba lösningar [3, 4].

Enligt regelverkets VGU (sv. väg och gators utformning) ska gång- och cykelvägar på landsbygden ljussättas om de är skilda från körbanor. När omständigheter kräver att en väg utanför tätorter ska ljussättas kan ibland ägare och Trafikverket tvingas till diskussion. På många platser finns varierande ägandeförhållanden, vilket betyder att en kommun kan äga en belysningsanläggning på en väg som ägs av Trafikverket [5].

En snabb lösning som fristående solcellsdriven belysning där bland annat kabeldragning inte behövs kan både stå för ekonomiska och miljömässig besparing. År 2014 presenteras att Stockholms gatubelysning kostar drygt 52 miljoner kr varje år. Genom att införa LED-belysning beräknas elräkningen kunna minska årligen med minst 5,2 miljoner kr.

Även om det svenska klimatet kan vara solfattigt under vinterperioden har solcellsdriven belysningen i exempelvis norra Djurgården lyckats få sina batterier laddade. Att införa belysningstekniken på landsbygdens gång- och cykelvägar kan därför ses som ett alternativ. Här skulle det inte behövas massvis med ljus hela nätter eftersom fotgängare och cyklister trafikerar mindre på landsbygden i mörker [6].

Flera rapporter har gjorts om solcellsdriven belysning. I samtliga utvärderingsrapporter från trafikverket anses belysningstekniken positiv. Den största utmaningen anses vara under solfattiga perioder. Belysningsteknik som testats har visat att teststräckor också kan påverkas av flera faktorer som väderförhållande, vegetation och antal trafikanter.

3 Teori

Solcellsbelysning är uppdelad i olika sektioner och i detta kapitel presenteras först uppbyggnad av solcellsdriven belysning. I senare del av kapitlet presenteras de tre huvudkomponenterna som används i uppbyggnaden.

3.1 Solcellsbelysning

Det finns många variationer av självförsörjande solcellsbelysning. Design och konstruktion varierar från tillverkare. De fyra grundläggande huvudkomponenter är batteri, lampa, kontroller och solpanel. Solcellsbelysning är en belysningsteknik som kan användas i terräng där det är svårt att nå elförsörjning. I figur 1 presenteras två olika solcellsdriven belysning design.

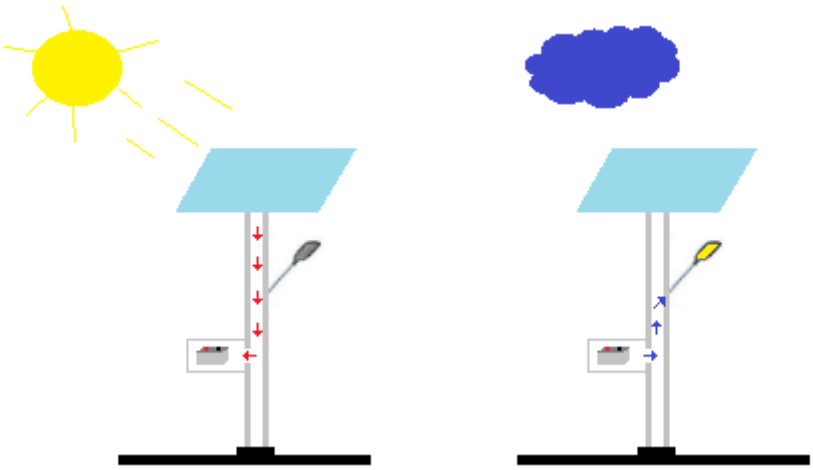
Integrerad typ **Traditionell typ**

Figur 1 Integrerad och delad solcellsbelysning [7].

Integrerad solcellsbelysning är ibland billigare än delad solcellsbelysning. Integrerad solcellsbelysning kräver mindre installationstid. I integrerad solcellsbelysning är alla komponenter samlade i en kropp. Inga batterier grävs ner eller sätts i boxar längs stolpar. Istället är ett litiumjonbatteri inbäddat i den komplexa konstruktionen. Den komplexa konstruktionen är flexibel och kan monteras i både väggar och äldre stolpar [8, 9].

Delad solcellsbelysning har solpanel, lampa och batteri separerat, se figur 1. Delad typ kallas också för traditionell solcellsbelysning. Den traditionella typen brukar vara mer flexibel för justering av solpanelens riktningsvinkel. Till skillnad från integrerad solcellsbelysning går det också att använda sig av större solpaneler. Med fler paneler kan mer energi uppfångst uppnås. Denna typ kan därför fungera bättre i molniga klimat [10].

Driftprincipen för en solcellsbelysning fungerar enligt figur 2. Med hjälp av solcellssystem upptas solenergi. Den solenergi som når ytan är i form av synligt ljus. Solljus utnyttjas sedan till elektrisk energi [11]. Under dagen upptas solenergi som omvandlas till elektrisk energi. Med hjälp av regulator lagras energi i batteriet. Efterfrågan på ljus är lite större under kvällstid och molniga perioder. Det är då batteriet levererar energi till lampan.



Figur 2 Driftprincipen för solcellsdriven belysning

3.2 Solpaneler

De två dominerande solcellsteknologier år 2009 var kristallinakiselsolceller och tunnfilmsolceller. Med 80 % respektive 20 % av marknadsandelen anses solcellstyperna som de två viktigaste [12].

Kristallinakiselsolceller delas upp i två typer monokristallina- och polykristallinasolceller, se figur 3. Med en verkningsgrad på ca 14-18 % är monokristallina panelen den energieffektivaste kristallina typen. Däremot är tillverkningskostnaden högre än polykristallina panelen. De vanligast panelen i marknaden är polykristallina panelen med 45-50 % av marknaden. Trots sin låga tillverkningskostnad börjar denna typ avta inom branschen [13, 14].

Monokristallina panel Polykristallina panel

Figur 3 Olika typer av kristallina kiselsolceller [13].

Tunnfilmsceller kallas för andra generationen av solceller och har en lägre tillverkningskostnad än de traditionella kristallinasolceller, se figur 4. Med sin låga verkningsgrad på 5-7 % krävs det större ytarea hos panelen för att generera lika mycket effekt som en kristallinasolcell [15].

Figur 4 Tunnfilmspanel [13].

De tre vanligaste tunnfilmsceller är A-Si, CdTe och CIGS.

CIGS-tekniken har framtiden framför sig, efter laborationstester på solcellsnivå är det nu möjligt att nå en verkningsgrad på 22,6 %. Därmed får vi effektivare tunnfilmspaneler [16].

För att förbättra verkningsgraden väljer nu flera företag att integrera CIGS-tekniken i sina paneler. På marknaden finns nu tunnfilmspaneler som kan uppnå verkningsgrad på 16,5 % [17].

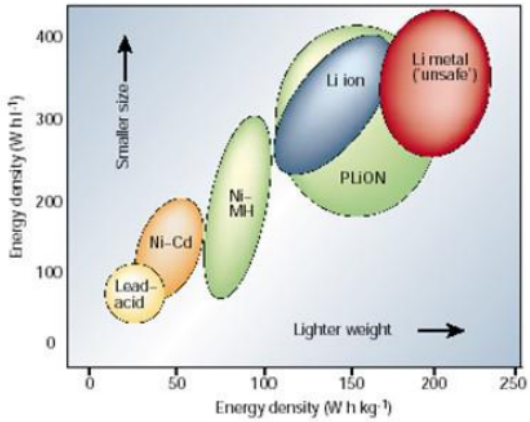
Tillverkarna ger garanti till ca 20-25 år, men livslängden beräknas ofta till hela 50 år. Sveriges kalla klimat är trots molniga och mörka perioder en fördel för solceller. En solcell som utsätts för hög temperatur genererar mindre output effekt än den som utsätts för lägre temperatur. Temperatur och solljus är därför två faktorer som påverkar solceller på olika sätt [18, 11].

3.3 Batterier

Producerad elektricitet från en solpanel är ibland inte tillräckligt för en last. Därför används ett batteri som förser lasten med stabil energi. Om lasten däremot har överskott på genererad elektricitet levereras istället allt till batteriet. På så sätt lagrar batteriet energi som senare kan användas.

Olika typer av batterier kan användas för att lagra den genererade elektriciteten från solcellspaneler. I fristående solcellssystem föredras vanligen att batterier ska kunna laddas och urladdas.

I figur 5 jämförs olika batteri tekniker. Blybatteri (eng. lead-acid) och litiumjonbatteri (eng. li-ion) är två batterityper som användas i fristående solcellssystem.



Figur 5 Jämförelse av olika batteriers volymetriska och gravimetriska energitäthet [19].

Blybatteri är den populäraste batteritypen som används för fristående solcellssystem. Fördelen gentemot andra batterityper är dess låga kostnad. VRLA-batteri är en typ av blybatteri som inte spiller syra och blir ur miljö perspektiv det bättre valet inom blybatteri. Om inte ordentlig vård och underhåll utförs reduceras livslängden. Det är därför viktigt att undvika ett lågt laddningstillstånd. Blybatteriets ska kunna uppnå ett urladdningsdjup på 50 % [20, 21].

Litiumjonbatteri är en dyrare batterityp men också miljövänligare. För sina tekniska fördelar används den också i fristående solcellssystem. I tabell 1 presenteras olika egenskaper mellan blybatterier och litiumjonbatterier. Litiumjonbatterier har längre livslängd, lägre underhållsdrift och mindre storlek än blybatterier. Dessutom har de högre urladdningsdjup och därmed ökar batteriets varaktighet i låg laddningsnivå. Batteri med högre urladdningsdjupet har högre effektivitet och även en längre livslängd.

Tabell 1: Egenskaper för VRLA-blybatteri och litiumjonbatteri. Litiumjonbatteriets DOD (sv. batteriets urladdningsdjup) är högre än hos VRLA-batterier. [22].

Characteristics	Lead acid	Lithium ion
Energy Density (Wh/L)	54-95	250-360
Specific energy (Wh/kg)	30-40	110-175
Depth of discharge (DOD)	50%	80%
Temp range of Charge	-40°c – 27 °c	-20°c – 55 °c
Efficiency	75%	97%
Replacement timeframe (year)	1.5-2	5-7
Maintenance costs	SLA = 2% VRLA=10%	None
Battery Cost ($/kWh)	120 (3,840baht)	600 (19,200baht)

3.4 Lampor

Lampornas egenskaper är viktiga för solcellsbelysning. Med LED-lampor uppnås en energibesparing på ca 50 % jämfört med traditionella lampor. LED-lampor har också högre investeringskostnad. I tabell 2 presenteras olika egenskaper mellan LED-lampor och andra lamptyper [23].

Tabell 2: Olika lamptyper med respektive egenskaper.

Natriumlampa	LED-lampa	Kvicksilverlampa
Energi sparande	Energi sparande	Energi sparande
Livslängd 2500h	Livslängd >50.000h	Livslängd 20.000h
Låg kostnad	Hög kostnad	Medium kostnad
Dålig visuell kvalitet	God kvalitet	God kvalitet

LED-lampor behöver lite ström för att fungera. Solcellsbelysning med LED-lampor kan därför använda sig av mindre solpaneler. LED till skillnad från natriumlampor har en lägre underhållskostnad, lägre bländning och snabbare starthastighet. Eftersom natriumlampor tar tid på sig för att tändas, fungerar därför inte en kombination med dimmer [24].

3.5 Solcellsbelysning i Sverige

I detta kapitel presenteras solcellsbelysning som används på svenska GC-vägar och busshållplatser.

Activelights solar

Activelights solar är en svensk serie av solcellsbelysning som utvecklats för nordiska klimatförhållanden. Belysningen kan användas för GC-vägar, parker och busshållplatser. Eftersom belysningen inte är i behov av kabeldragning kan också elräkningarna nollas. Serien består av 4 produkter. Där 2 av dem, solar 1.0 och solar 6.0 använder sig av rörelsedetektor, se figur 6 [26]. Produkterna har utvecklas med stöd från kommuner. Solar 1.0 och solar 6.0 utvecklades 2010 respektive 2012 för att lysa upp GC-vägar, busshållplatser och andra platser där det saknas el. Activelights solar 1.0 namnges ofta som solcellsdriven pollarebelysning, se figur 6.

Figur 6 Activelights solar 1.0 och activelights solar 6.0

Trots att designen skiljer sig åt, är egenskaperna nästan likadana. Se tabell 3 och 4:

Tabell 3: Olika egenskaper för solar 1.0

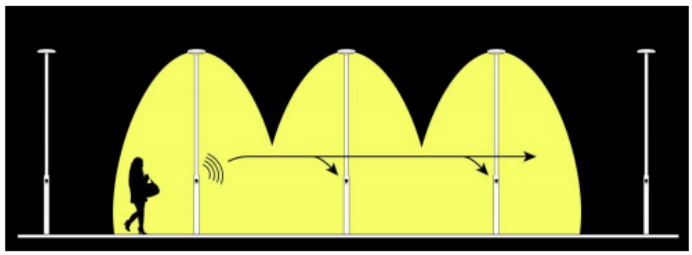
Solar 1.0
Förmåga att lysa upp 1h/dag i 2 månader utan laddningen av sol
Rörelsestyrd
Utvecklad för nordiska klimatförhållanden
Batteritid 7-10 års livslängd
Avstånd mellan poler ca 15 meter
Vikt 7 kg
Lux: ca 3 Lux på marken
2,4 VDC batteri, Ni MH, 10 Ah, 7 - 10 års livslängd
6 000 Kelvin, 4st Cree LED-dioder
ca 3 Lux på marken
Garantin är 2 år (5 år med serviceavtal)

Tabell 4: Olika egenskaper för solar 6.0

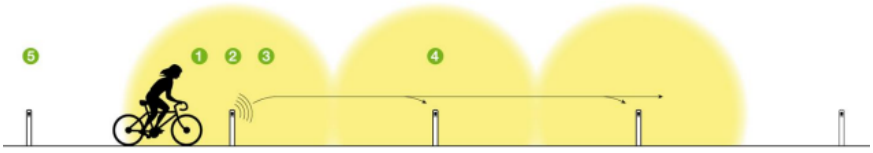
Solar 6.0
Förmågan att lysa upp 1h/dag i 1 månad utan laddningen av sol.
Rörelsestyrd
Utvecklad för nordiska klimatförhållanden
Batteritid 7-10 års livslängd
Avstånd mellan poler ca 25 meter
Vikt 60 kg
10,8 VDC batteri, Ni MH, 10/20 Ah, 7 - 10 års livslängd
LED 1-10W, 400 - 1900 lumen, 4000 K
Garantin är 2 år (5 år med serviceavtal)

I figur 7 och 8 visas hur solcellsbelysning kan fungera på en GC-väg. Belysning tänds när rörelsedetektorerna känner av att någon närmar sig. Beroende riktning cyklisten och/eller fotgängare passerar, tänds de 3 närmsta stolpar i färdriktning.

De stolpar som passeras släcks efter ca 1 minut. Denna typ av belysningsanläggning kallas för närvarostyrd solcellsbelysning.



Figur 7 Solar 6.0 med rörelsedetektor, tre närmsta stolpar tänds.



Figur 8 Solar 1.0 med rörelsedetektor, tre närmsta stolpar tänds [27, 28].

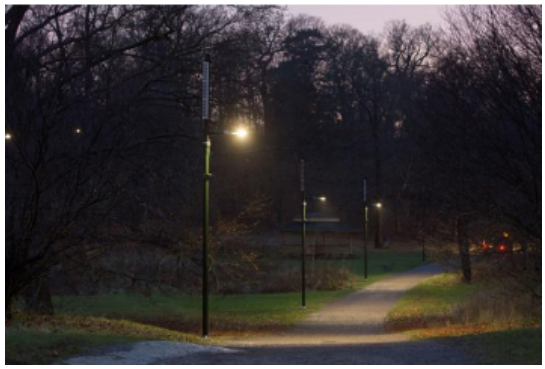
Installation av respektive solcellsbelysning har gjorts i flera GC-vägar runt om i Sverige:

I Sölvesborgs kommun installerades 44 solcellspollare solar 2.0 på en gångväg med 1 km sträcka. När det blir mörkt ute tänds pollare under 4 timmar, därefter aktiveras närvarostyrningsfunktionen. Med investeringsstöd från Energimyndigheten och EU:s landsbygdsprogram har kommunen funnit delfinansiering av projektet [29].

Gullholmen är en ö i Orusts kommun som saknar elnät till belysning. Delar av ön är naturreservat som inte tillåter nedgrävning av kablar. Därför lätt kommunen med hjälp av EU-bidrag installera 245 st activelights solar 1.0 för att lysa upp en 4 km GC-väg. Här tänds endast belysningen med närvarostyrning [30].

Längs besches väg i Norra Djurgården installerades 74 st solcellsbelysningar. Varav 42 st är activelights 4.0 samt 32 st pollare. Armatureffekten som använts är 4 respektive 2 W. De intervjuundersökningar som gjorts före och efter installationen visar att det finns intresse för ökad användning. Efter installationen ökade vägens popularitet 3 gånger mer per dag. En tredje undersökning visar att 80 % av deltagarna vill se denna belysningsteknik på flera sträckor i området [31].

Figur 9 Besches väg



Figur 10 Activelights 4.0 på kvällstid [31]

På grund av solfattig vinter år 2014/2015 bestämdes att samtliga solcellsbelysningar ersätts med fullt laddade batterier en gång i månaden. I detta område beräknades ca 3-4 byten under vinterperioden. Ett batteribyte per stolpe tar ca 2-4 minuter [32].

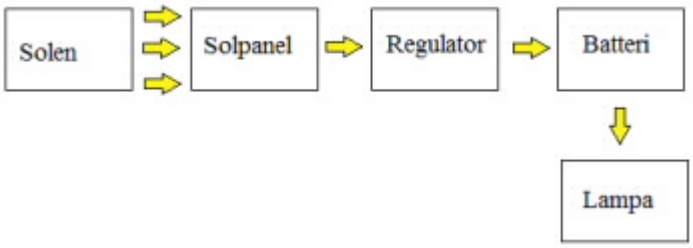
Trafikverket har också testat andra typer av solcellsbelysning på busshållplatser runt om i landet.

I Tjörn monterades år 2012 belysningssystemet Evergen 1700, en solcellsbelysning tillverkad av Carmanah. I detta system är en solcellspanel och 2 batterier ihopsatta i en komplex kropp. Eftersom LED-lampan är fri från kroppen räknas armaturen inte som en integrerad solcellsbelysning, se figur 11. Systemet använder sig av en närvarosensor och skymningsrelä. När det blir mörkt tänds armatur upp till grundljus. När en resenär detekteras dimrar ljus nivån upp. Trafikverket anser att produkten har potential men att belysningen är för svag. Att kombinerad styrning och dimmer kanske är mer brottsförebyggande, dock kan det bli svårare för batteriet att hålla belysningen tänd under längre tid [33, 34].

Figur 11 Solcellsdriven belysning Evergen 1700

3.6 Beräkning av solcellsbelysning

Blockdiagram för solcellsbelysning presenteras i figur 12. Batteri, solpanel, lampa och regulator är huvudkomponenterna som används för uppbyggnad av solcellsbelysning. Det är viktigt att dimensionera solcellsbelysningen innan en installation utförs. Eftersom belysningen är självförsörjande och inte beroende av elnätet bör också områdets solinstrålning $(Wh/m^2/dag)$ studeras.



Figur 12 Blockdiagram solcellsbelysning

Parametrar nedan bör beräknas innan en installation av solcellsbelysning utförs.

- Dagliga energiförbrukningen
- Batteristorlek
- Dimensionering av solpanel

Lampan som är kopplad till solcellssystemet konsumerar energi. Med hjälp av ekvationen 3.1 beräknas den totala energi lampan behöver. E är lika med wattimmar per dag som efterfrågas av solcellspanelen. P står för lampans effektförbrukning och t för antal timmar lampan används.

$$E = P * t \quad (Wh/dag) \qquad \text{ekvation 3.1}$$

Energi som förloras i systemet är ca 30 %. Därför multipliceras E med 1,425. Den totala energin som behövs från solcellspanelen.

Total energi som behövs från solcellspanelen för lampan= E * 1.43 (Wh/dag) ekvation 3.2 [35].

Batterikapacitet:

$$C = (E * T_{mörkt})/(B_{effektivitet} * V_{bb} * DOD) \ (Ah) \quad \text{ekvation 3.3}$$

C - Batterikapacitet

$T_{mörkt}$ - Antalet molniga eller regniga dagar i sträck

$B_{effektivitet}$ - Batterieffektivitet, skiljer sig från batterityp ofta 75 % till 97 %

V_{bb} - Batteriets spänning (12V, 24V etc)

DOD - Utmatningsdjup, skiljer sig från batterityp, 50 % till 80 %

Solpanelens kraft/effekt bestäms med ekvation 3.4 Solinstrålningen varierar hela tiden för olika platser. Därför varierar solpanelens uteffekt.

$$P_v = E_{tot}/(H * B_{effektivitet} * PV_{def}) \quad \text{ekvation 3.4}$$

H - Månad med värst solinstrålning.

$B_{effektivitet}$ - Batterieffektivitet, skiljer sig från batterityp ofta 75 % till 97 %

PV_{def} - reducerings faktor (80 %)

E_{tot} - Dagliga energiförbrukningen.

[36, 37]

3.7 Gång- och cykelvägar på landsbygden

Vägar runt om i landet kan ha olika ägarförhållande. Ibland kan det förekomma att kommuner äger belysningsanläggning på vägar de inte äger. Därför kan nya belysningsprojekt kräva mer planering .

Kilometer långa GC-vägar på landsbygden kan ha olika miljösekvenser. Därför är det möjligt att se GC-vägar i lummiga skogspartier, öppna odlingslandskap och parallellt med vägbanor. Vägars belysningsanläggning kan se olika beroende miljösekvens. Eftersom GC–vägar på landsbygden inte trafikeras lika ofta som i tätorter övervägs ibland belysningsanläggningar. I figur 13 presenteras olika exempel med GC-vägar på landsbygden. En GC-vägs ljuspunktshöjd är mellan 4-6 meter och stolpavståndet motsvarar 4-5 gånger stolphöjden.

Figur 13 GC- vägar på landsbygden med olika miljösekvenser.

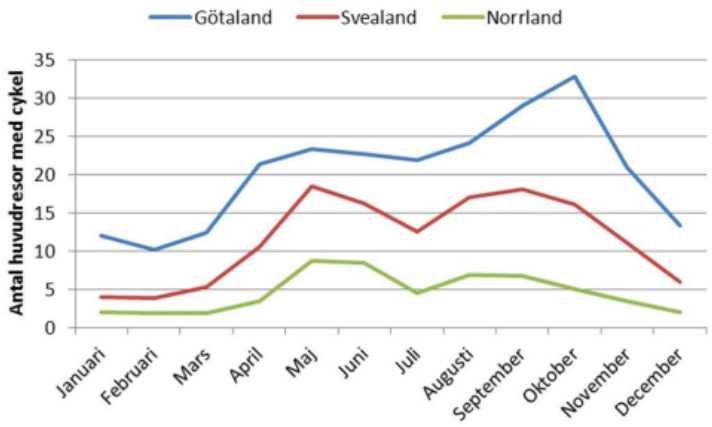
Vägbelysning utanför tätorter ställs för både miljö och säkerhetsutmaning. Vägar måste ibland lysas upp för att cyklister och fotgängare ska känna trygghet. I trafikverkets föreskrift VGU rekommenderas att en belysningsanläggning ska utformas med brottsförebyggande syfte. När en GC-väg trafikeras bör lägsta belysningsstyrkan inte underskrida 1 lux.

På landsbygden är det därför viktigt att anpassa belysningsnivån till den mörka omgivningen. För att fotgängare och cyklister inte ska uppleva bländning kan istället en relativ svag belysning föredras. För mycket ljus skapar ljusförorening. Ljusförorening är negativt för människor, djurliv och naturområden. Dimning kan hjälpa att minska ljusförorening. Dimning är ett vanligare begrepp för nedreglering av belysningsnivån och rekommenderas på vägar med lite trafikflöde. Dimmernivå för ljuskällor skiljer sig beroende typ. I GC-vägar föreslås också närvarostyrningsteknik. [38]

3.8 Cykeltrend runt om i landet

Hur cykeltrenden ser ut idag och i framtiden finns ingen exakt statistik. Urbanisering till storstäderna gör att befolkningen på landsbygden minskar, därmed också cyklandet. De senaste decennierna har cykelandelen varit högre i storstäder och mellanstora städer. I framtiden beräknas landsbygden ha en lägre cykelandel.

Cyklandet varierar mellan olika städer. Cykelresor brukar vara som högst i städer med cykeltradition och med präglat studentliv. Studentstäder som Umeå och Uppsala tillhör Norrland respektive Svealand, trots att de tillhör olika landsdelar har de båda en cykelandel på över 20 %. Sundsvall och Stockholm tillhör också respektive landsdelar. Men här är cykelandelen mindre än 5 %. Län inom Götaland har högsta andelen cykelresor. Se figur 14, för samtliga landsdelar är cyklandet som högst under maj och september månaderna. Vintertid är månaderna med minst huvudresor [39].



Figur 14 Cykeltrafik i olika landsdelar under ett år [39].

4 Metod

Examensarbetets hypotes är att solcellsteknik är ett alternativ som gatubelysning för gång- och cykelvägar på landsbygden. För att verifiera hypotesen används följande lösningsmetoder.

Först undersöks hur solcellsbelysning i nuläget fungerar i Sverige. Undersöka och jämföra solcellsbelysning som finns runt om i landet.

Vidare att undersöka är hur solinstrålningen ser ut i Sverige samt vilken typ av solcellsbelysning som passar skandinaviskt klimat.

Genom att integrera teknik som rörelsestyrning kan solcellsbelysningens ljusstyrka minimeras. Här undersöks exempel på hur metoden ökar energibesparing. Det är intressant att se om huvudkomponenterna solpanel, batteri och lampa är avgörande för ökad effektivitet.

Genom att jämföra kostnader med traditionell gatubelysning går det att ta reda på om det finns ekonomiska förutsättningar med lönsamhet.

För att dra en slutsats görs en jämförelse med solcellsbelysning i ett land med liknande geografisk fördelning av solinstrålning.

Den huvudsakliga metodiken är litteraturstudier, fallstudier, analys och beräkningar.

5 Resultat

5.1 Solcellsbelysning i Sverige

Solcellspaneler utvecklas hela tiden och i Sverige har de visat stora framsteg. År 2016 var den totalt installerad solenergi i Sverige omkring 205,45 Mwp, där 6.1 % är icke nätanslutna system. I Sverige finns en ökning av nätansluten solcellsanläggning, medan det förblir stabilt för icke nätanslutna systemen.

En statistik för hur mycket icke nätansluten solcellsbelysning installerats är däremot osäkert. Sedan år tillbaka finns det acceptans för solcellsbelysningstekniken. Kommuner som söker investeringsstöd för solcellsbelysning på landsbygden är berättigad stöd från Energimyndigheten och EU:s Landsbygdsprogram. Men en statistik på hur många kommuner som beviljats stöden är oklart.

Tabell 5 är en statistik på ett antal solcellsdriven belysningsanläggningar som installerats runt om i landet. I tabellen avläses en utvald belysningsanläggning per kommun.

Tabell 5: Solcellsbelysning i olika kommuner.

		Solbelysningstyp	Användning
Götaland	Sölvesborgs kommun	ActiveLights 1.0	GC-väg
	Tjörns kommun	Evergen 1700	Busshållplats
	Orusts Kommun	ActiveLights 1.0	GC-väg
	Alingsås kommun	ActiveLights 6.0	Busshållplats
Svealand	Stockholm kommun	ActiveLights 4.0 och 1.0	GC-väg
	Fagersta kommun	ActiveLights 1.0	GC-väg
	Västerås kommun	ActiveLights 1.0	GC-väg
Norrland	Kramfors kommun	ActiveLights 6.0	Busshållplats
	Timrå kommun	ActiveLights 6.0	Busshållplats

Runt om i landet visas stor användning av serien activelights solar. Både på GC-vägar och busshållplatser. Activelights solar med närvarostyrning har oftast fungerat bättre än de som endast använder sig av dimmer. Batterikapaciteten kan ökas genom att endast använda belysning vid behov. År 2009 installerade Västerås kommun 180 solcellspollare på en GC-väg, 5 år senare togs belysningstekniken bort [40]. Här var stöld och skadegörelse motivet för borttagningen av belysningsanläggningen.

I Trafikverkets rapport ”Nytt ljus” [34] görs en utvärdering på olika typer av belysning som används för att lysa upp busshållplatser. Samtliga solcellsdrivna belysningsprodukter fick tillsammans medelpoäng 14.6 av 20. De busshållplatser som installerades med serien activelights solar 6.0 fick poängen 16 av 20 respektive 17 av 20, medelpoäng blev 16,5 av 20. Serien activelights solar klarade av svenska klimatförhållanden bättre än de andra solcellsdrivna belysningsprodukter.

Trots brister ser Trafikverket potential i activelights solar. På platser utan strömförsörjning anser Trafikverket att belysningstekniken har stort värde [34].

Enligt tillverkaren klarar armaturen activelights solar 6.0 att lysa 30 timmar under en månad utan laddning av sol. Om lampan lyser 36 sekunder vid varje passage motsvarar det en kapacitet på 100 passager/dag. [28].

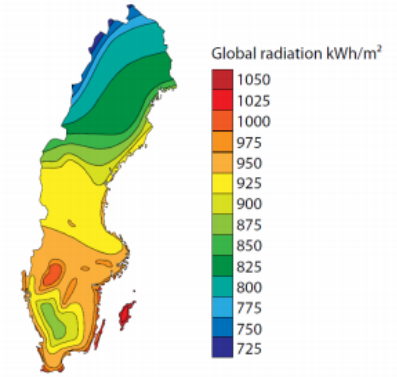
En solfattig vinterperiod ökar risken för en låg batterilagring av el. Om rimlig batterikapacitet inte uppnås, kan istället fulladdade batterier bytas ut varje månad under vinterperiod. Metod minimerar risken med nedsläckta lampor, däremot ökar den årliga underhållskostnaden [31].

Under vintertid är det färre cyklister på landsbygden, därmed minskar också brinntiden hos batterier. Under sommaren är dagarna mer soliga vilket gör att belysningsbehovet minskar. På landsbygdens GC-vägar kan därför solcellsbelysning med dimmer eller traditionell belysning anses som onödig teknik. På dessa vägar uppnås energibesparing bäst med närvarostyrningsteknik.

5.2 Solinstrålning

Hur mycket el en solcellsbelysning kan generera beror först och främst på områdets solinstrålning. Vid ekvatorn är solinstrålningen störst. Sverige är ett land långt norrut och har därför en lägre solinstrålning [41].

Sveriges globala solinstrålning över ett år kan se ut som i figur 15 Solinstrålningen är som störst längs landets södra kuster, på Öland och Gotland. Solinstrålningen i Sverige ligger mellan 725 och 1050 kWh/m^2. År 2017 var den medelvärdiga ackumulerade globalstrålningen $(929{,}5\,kWh/m^2)$ baserat på 8 mätstationer spridda över landet. Sommaren och våren är de bästa årstiderna på året. I tabell 6 presenteras solinstrålningen säsongsvis för år 2017.



Figur 15 Sveriges globala solinstrålning kWh/m^2 över ett år.

Tabell 6: Medelvärde av säsongsvis ackumulerad global solinstrålning år 2017.

Vinter	34,3	kWh/m^2	dec, jan, feb
Sommar	448,9	kWh/m^2	jun, jul, aug
Vår	348,4	kWh/m^2	mar, apr, maj
Höst	98,8	kWh/m^2	sep, okt, nov

Med solinstrålningsdata går det lättare att bestämma vart solcellsdriven belysning är lämpligast att installera. När solinstrålningen är som lägst måste batterikapaciteten sparas. Närvarostyrning har visat vara en bra metod för energibesparing. Genom att dimensionera rätt ska det också gå att uppta mer solenergi. Solpaneler som testats av Energimyndigheten visar att det finns moduler som har potential för svenska klimatförhållanden [42].

5.3 Dimensionering av en ideal solcellsbelysning

Solinstrålningen för solcellsbelysning påverkas av olika faktorer. Med rätt dimensionering kan maximala energibehov fås. En ideal solcellsbelysning för GC-väg på landsbygd kan dimensioneras enligt nedan.

Solcellsdriven belysning för GC-väg på landsbygden kan vara en LED med 1-10 W. Med ekvationen 3.2 fås den dagliga energiförbrukningen för armaturen, ca 0,026 kWh per dygn.

Batterikapacitet beräknas med ekvation 3.3. Eftersom batterityper har olika parametrar blir också resultaten olika. Kapaciteten för de olika batterityper kan liknas vid tabell 7. Ju fler dagar en solcellsbelysning är utan solladdning ökar också behovet av högre batterikapaciteten.

Tabell 7: Batterikapaciteten hos LiFO4 (sv. litiumjonbatteri) och VRLA-batteri.

	5 dagar	6 dagar	7 dagar
Litiumjonbatteri	13.9 Ah	16.8 Ah	19.5 Ah
VRLA-batteri	28.9 Ah	34.7 Ah	40.4 Ah

Kapaciteten för att uppnå 6 mörka dagar i sträck med ett 12 volt batterisystem är 16,8 Ah med litiumjonbatteri och 34,7 Ah med VRLA-batteri. En 12 Volt 20 Ah litiumjonbatteri skulle passa för denna dimensionering. Priset för sådan batteri är ca 1000 kronor [43].

I denna dimensionering behövs en solpanel med 18 Volt. Spänningen fås från ekvation 5.1

$$\text{Solpanelspänning} = 1.5 * \text{Batterispänning} \qquad \text{ekvation 5.1 [44]}$$

Med ekvationen 3.4 beräknas den teoretiska uteffekten för en solpanel. En viktig punkt är att iaktta den månatliga globalstrålningen. I tabell 8 presenteras data från SMHI för år 2014. Data som presenteras är resultat från 18 mätstationer runt om i landet. Vintermånaderna samtliga globalstrålning var år 2014 ca 14,59 kWh/m^2. Den dagliga globalstrålningen för december månaden år 2014 är 0,0348 $kWh/m^2/dygn$. Utifrån tabellens data rekommenderas därför en solpanel med uteffekt 40 W.

Tabell 8: Månadsvärden för alla mätstationer i Sverige [45].

Globalstrålning $[kWh/m^2]$											
Jan	Feb	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
3,55	9,96	62,67	121,78	155,21	184,29	193,1	119,65	78,38	20,52	5,4	1,08

I praktiken kan en större solpanel vara bättre för dygnsförbrukningen. I Malmö används en solpanel på 0.6 m^2 och 75 W toppeffekt. En solig höst dag kan den generera 0,047 kWh/m^2. Alltså nästan två gånger mer än vad utvald armatur behöver till sin dygnsförbrukning [46].

5.4 Ekonomi

I rapporten ”Avancerad styrning av nätansluten respektive solcellsdriven utomhusbelysning” [31] har en ekonomisk jämförelse gjorts. Enligt rapporten är LCC högre för en traditionell armatur än för en solcellsdriven. Priset för en solcellsdriven stolpe activelights solar 4.0 är cirka 20 000 kr. Med fundament blir kostnaden 21 500 kr [31].

Investeringskostnaden för de 180 solcellspollare som installerades år 2009 i Västerås kommun blev ca 4 gånger billigare än om traditionell belysning valts. Med traditionell belysning skulle också en årliga elräkning på 250 000 kr inkluderas. Investeringskostnaden för anläggningen blev cirka 600 000 kr [47].

Solcellsdriven belysningsanläggning för GC-väg i Sölvesborgs kommun har en investeringskostnad på cirka 430 000 kr. Anläggningen består av 44 stycken solcellslampor. Priset är cirka 9800 kr per ljuspunkt, inklusive fundament [48].

Innan en beräkning görs för drift- och underhållskostnad är det viktigt att ta hänsyn till stöld och skadegörelse. Dessa två faktorer kan bidra till ökade underhållskostnad.

En traditionell belysningsanläggning för GC-väg på landsbygden kräver kabeldragning, ibland också ställverk. Fasta elkostnader kan exkluderas med solcellsbelysning. Med LCC-kalkyl görs därför en jämförelse mellan två olika solcellsbelysningsanläggningar och en nätansluten belysningsanläggning. GC-vägen beräknas ha en sträcka på 1 km.

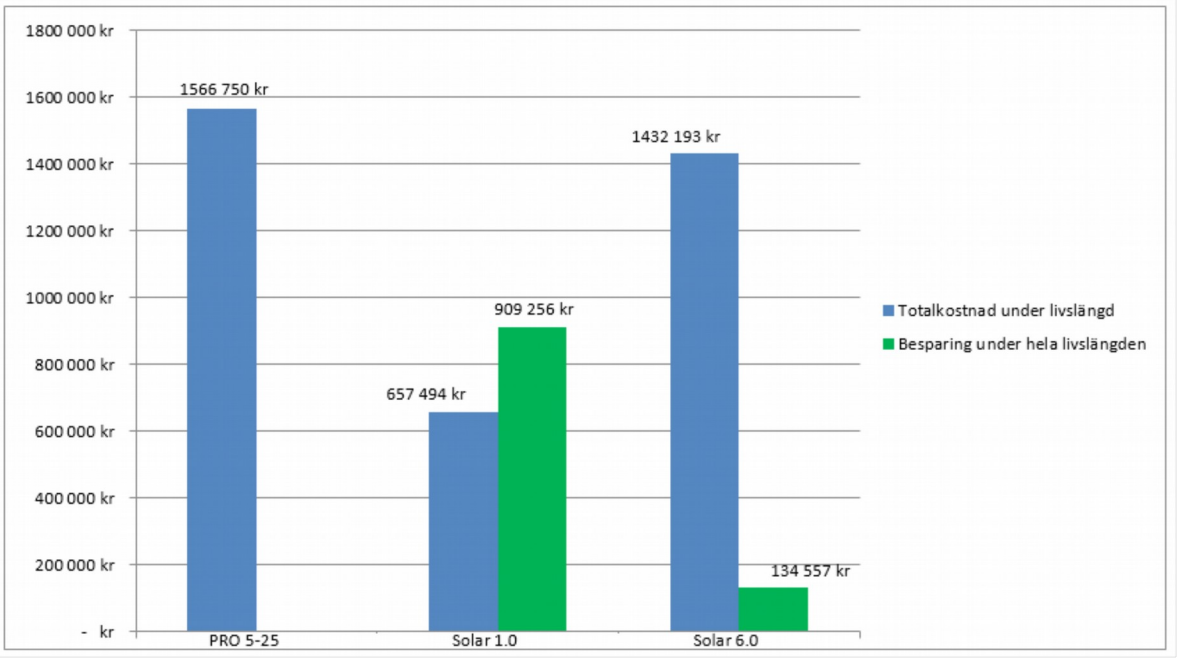
Armatur:

- ActivLights Pro 5-25
- ActivLights Solar 1.0 (solcellsbelysning)
- ActivLights Solar 6.0 (solcellsbelysning)

LCC = Grundinvestering + elkostnader + underhållsbyten + vandalismkostnad [49, 50].

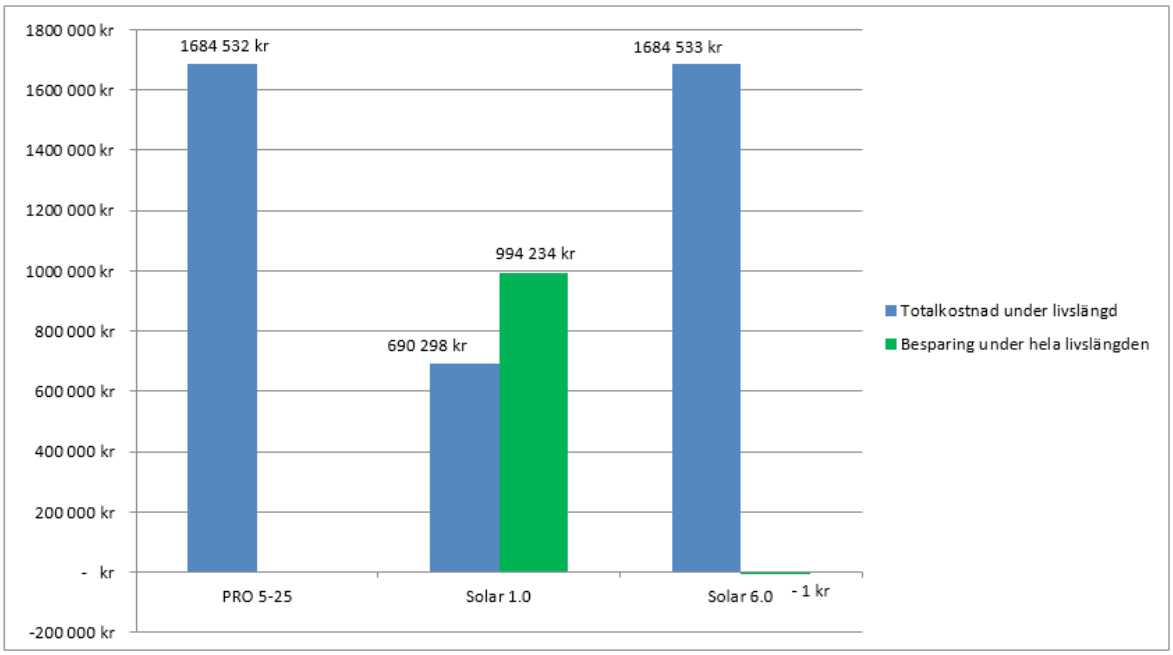
Avstånd mellan stolparna kan variera beroende på den armatur som används. På en GC-väg som sträcker sig 1 km kan därför antalet ljuspunkter variera. En reducering av ljuspunkter minskar bland annat investeringskostnaden. LCC-kalkylen i tabell 9 gäller för 25 år. Solcellsbelysning som jämförs i LCC-kalkylen antas belysa 2 h/dygn. Den nätanslutna LED-belysning kan använda sig av starkare belysning och belysa ca 11 h/dygn. Nätansluten belysningsanläggning som studerats har högre LCC än de två solcellsbelysningsanläggningar. En besparing på 58 % kan uppnås genom att använda armaturen activelights solar 1.0. Med livslängd på 25 år kan belysningsanläggning med 50 stycken activelights solar 6.0 uppnå en besparing på 134 557 kr. LCC-kalkylens parametrar finns i bilaga 1.

Tabell 9: LCC-jämförelse (25 år) mellan nätansluten och solcellsbelysning.



Belysningsanläggning med solar 6.0 får högst LCC om livslängden översteg 42 år och 242 dagar. Tabell 10 använder sig av samma parametrar som bilaga 1. LCCkalkylen tar därför inte hänsyn till eventuell prisökningar, kostnader för utbyte av komponenter (solpaneler, kontroller etc.) och vandalism. En procentuell besparing ökar med 1 % för belysningsanläggning med solar 1.0 armatur. Armaturvalet activelights solar 1.0 blir produkten som både sparar energi och kostnader mest.

Tabell 10: LCC-jämförelse (42,6638 år) mellan nätansluten och solcellsbelysning.

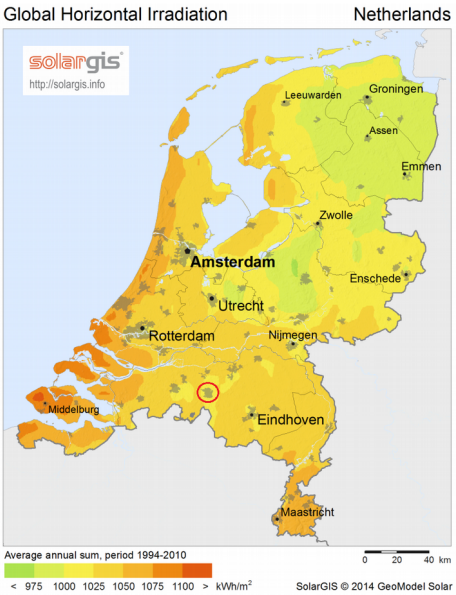


Ur tabell konstateras att batteribyte som är tänkt att göras vart 7 år är en avgörande faktor för en anläggnings LCC. Solar 1.0 har en låg batterikostnad som ger en bättre investering än hos en solar 6.0 med hög batterikostnad. Anläggningen med solar 1.0 får en minimal LCC-förändring under livslängdsökningen. Medan solar 6.0 blir helt utan besparing.

Under solfattiga månader när batterikapaciteten hos solar 6.0 inte räcker till kan istället befintliga batterier bytas ut med fulladdade batterier. Driftkostnaden för utbyte av samtliga batterier beräknas bli ca 167 000 kr under 25 år. Ingen besparing kan erhållas under livslängden och därmed fås en högre LCC. Denna metod är nytänkande men mycket dyr i längden. I denna analys har inte de årliga kostnaden beräknats för de månatliga utbyta fulladdade batterierna.

5.5 Solcellsbelysning i Nederländerna

Tilburg kommun ligger i södra delen av Nederländerna. Den nederländska kommunen markeras med röd cirkel i figur 16. Här är medelvärdet för global solinstrålning ca 1025 kWh/m². Liknande mängd global solinstrålning finns i Sveriges södra kust och Gotland. Solcellsbelysning som installerats i kommunen är från företaget soluxio lightning. Stolpen som används är 10 meter hög och har inbyggda flexsol cylindriska solcellspaneler med ca 500 W [51].



Figur 16 Nederländernas globala solinstrålning kWh/m² [52].

Designkonceptet hos soluxio lightnings har likheter med den svensk tillverkade serien activelights solar, se figur 17. Soluxio lightnings har visat bra kvalitet. År 2018 är det därför tänkt att cirka 100 st soluxio solcellslampor installeras vid Nederländska vägen N211 [53]. Garanterad drift är projektets utmaning och därför är alla solcellsbelysningar också nätanslutna.

När trafikflödet minskar är tanken att belysningsanläggningen ska dimra. Vid detta område är solinstrålningen ca 1200 kWh/m².

Figur 17 Soluxio lightnings på en GC-väg i Nederländerna

6 Analys och diskussion

Solcellsbelysning testas i flera områden runt om i Sverige. Från resultaten ses också att belysningstekniken är mest effektiv i landets södra kust och Gotland. Solcellsbelysning som utvecklats med hjälp av kommunalt stöd visar sig ha effektivare egenskaper i svenskt klimat. Genom att stödja tekniken har utvecklingen förts i rätt riktning. Solcellsbelysning ska helst installeras på öppna odlingsplan i landsbygden. Här upptas solinstrålning utan att skuggor från omgivning påverkar. Med närvarostyrning ökar inte bara energibesparingen utan också möjligheter för installation vid GC–vägar med ett trafikflöde på 100 passagerare/dygn. Solcellsbelysning med närvarostyrning har visat bättre resultat och egenskaper än de med endast reglerande dimmernivå. Att endast lysa GC-vägar vid behov visar sig ge bra resultat för energibesparing.

Val av huvudkomponenter visar sig ha en avgörande påverkan i dimensionering. Med en positiv solcellsutveckling och ökad batterikapacitet är solcellsbelysning i rätt steget mot utvecklingen. Ur etiskt perspektiv kan ibland en attraktiv belysningsdesign föredras. Eftersom det i vissa miljöer kan anses oattraktivt att ha solcellsbelysning med stor panel.

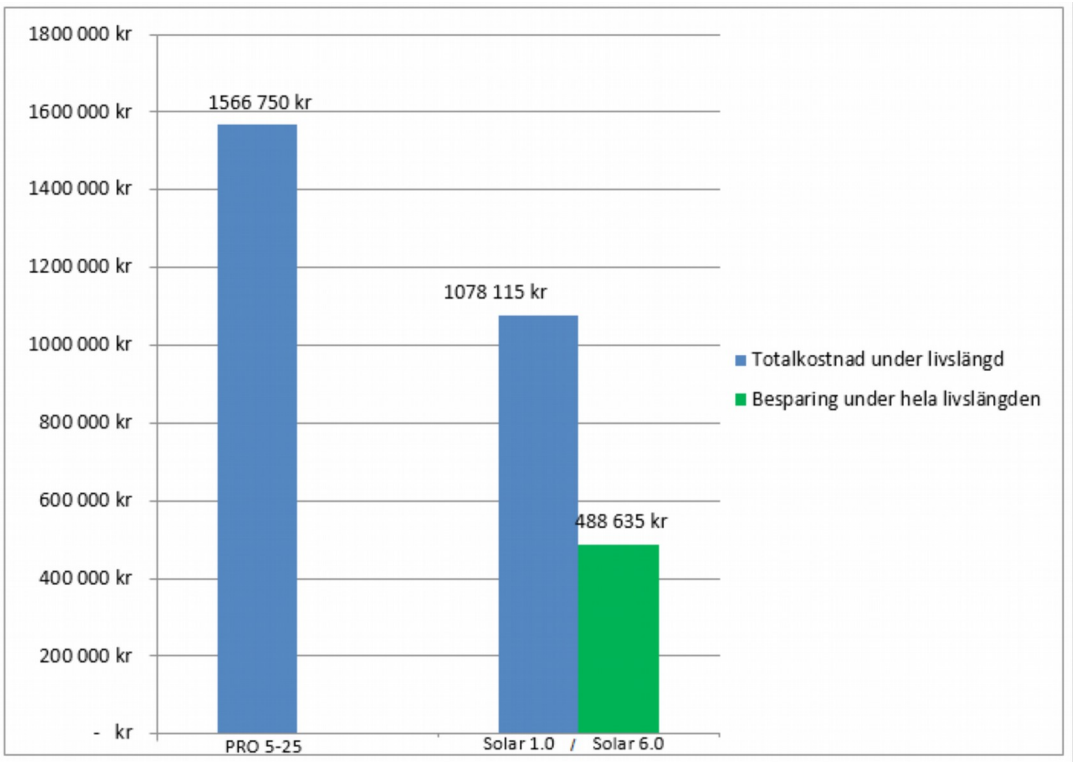
Utvärderingsrapporten ”Nytt ljus” [34] från Trafikverket visar att det finns solcellsbelysning som är nytänkande och användbar i landet. En ny upplaga skulle ge djupare förståelse och acceptans i ämnet.

6.1 Ekonomi

Analys av LCC-kalkyl för olika belysningsalternativ på GC-väg, se tabell 9 och 10. Acivelight solar 1.0 visar sig vara den solcellsbelysningstyp med mest förutsättningar för att ersätta traditionell belysningsanläggning. Grundinvesteringen är betydligt billigare än solcellsbelysningen solar 6.0 och därmed fås också en mer positiv besparing. Om man dubblar livslängden hos respektive anläggningar blir besparingen nästan oförändrad hos solar 1.0 men helt nollad hos solar 6.0.

En GC-väg kan bli mer brottsförebyggande när belysningsanläggningen består av hälften solar 1.0 och solar 6.0. I tabell 11 presenteras totala kostnaden samt besparingen för belysningsanläggningen med 25 st solar 6.0 och 30 st solar 1.0. Den kombinerade belysningsanläggningen uppnår en besparing på 46 %. Den procentuella minskningen på 12 % jämfört med solar 1.0 anläggningen kan ses som en positiv investering för att uppnå ökad säkerhet och minskad vandalismkostnad.

Tabell 11: LCC-jämförelse (25 år) mellan nätansluten och två kombinerade solcellsbelysningar.



Ekonomiskt stöd finns att hämta för solcellsdriven belysningsanläggningar hos GC-vägar på landsbygden. I examensarbetets tidigare kapitel finns exempel på belysningsanläggningar som fått stöd från bland annat Energimyndigheten och EU:s landsbygdsprogram. Om samtliga bidragsgivare beviljar stöd till en och samma projekt, kan projektägarens investeringskostnad minska mellan 50 – 90 %. De olika stöd som finns kan vara en metod för att öka investeringsviljan hos kommuner och vägföreningar.

Däremot kan stöld och skadegörelse minska intresset hos kommuner. I tidigare solcellsbelysningsprojekt har kommuner upplevt hur dyrt det blir med vandalismkostnader [40]. Solar 1.0 har visat vara en belysningsanläggning med hög risk för vandalism. Därför kan en GC-väg med kombinerad solcellsbelysning föredras. Där hälften av belysningsanläggningen består av solar 6.0.

6.2 Miljö

Sedan år 2015 är det förbjudet att sälja kvicksilverarmatur inom EU. Kvicksilverarmatur och halogenlampor i gatubelysning ersätts allt mer av LED-armatur. Ju mer energisnål gatubelysningsurvalet är, desto mer minskar koldioxidutsläpp [54]. Belysningens elanvändning står för ca 80 % av miljöpåverkan. Solcellsdriven LED-belysning med avancerad närvarostyrning är fri från elkostnader vilket också gör att den största mängden koldioxidutsläpp kan försummas [55].

6.3 Nätansluten solcellsdriven belysning

Om investering kring självdriven solcellsbelysning inte känns säkert kan istället en kombination göras med sammankopplad LED-belysning och nätansluten solcellsanläggning. Med följande metod uppnås en minskad elräkningar och koldioxidutsläpp. Principen är likt som för solcellspaneler på villatak. Där ett lokalt energibolag stämmer avtal och reglerar årliga produktionsunderskottet/överskottet. År 2013 installerades ett sådant projekt i Gotland. Kostnaden för projektet var drygt 1.2 miljoner kr där ca 90 % finansierades av EU:s landsbygdsprogram [56].

6.4 Framtida arbeten

Ett förslag till framtida arbete är att utse en specifik GC-väg på landsbygden. Därefter studera områdets dagliga solinstrålning $\left(\mathrm{Wh/m^2/dygn}\right)$. Testa självförsörjande solcellsbelysningsarmatur från olika tillverkare eller dimensionera egen prototyp. Resultat från solfattiga månader är av störst intresse. Därför ska testinstallation helst göras under vinterperiod.

7 Slutsats

Solcellsbelysning för gång- och cykelvägar på landsbygden har goda förutsättningar som belysningsalternativ. Men största utmaningen är solinstrålning.

Solcellsbelysning med avancerad närvarostyrning har under vinterperioder visat sig ha bättre resultat än när endast dimmerfunktioner används. De självförsörjande och närvarostyrda solcellsbelysningsarmaturen solar 1.0 och solar 6.0 har stort förtroende bland kommuner. Resultatet visar att en belysningsanläggning på gång– och cykelväg med hälften solar 1.0 och solar 6.0 ger möjlighet att uppnå positiv ekonomisk besparing och kraven som brottsförebyggande väg.

Den avancerade närvarostyrningstekniken är ett exempel på teknik som bidragit med utveckling inom solcellsbelysning. För svenskt klimat krävs därför hela tiden nya tekniska lösningar som kan kombineras med solcellsteknik.

Medan solinstrålningen i Sverige och Nederländerna skiljer med liten marginal. Har solcellsteknik i Nederländerna visat sig ha mer politisk stöd och acceptans. Trafikverket har i Sverige testat olika typer av solcellsbelysning på olika busshållplatser runt om i landet. Utvärderingen har visat några positiva resultat. I landets södra delar och västkusten ses en ökad trend för solcellsanvändning. Här når den årliga solinstrålningen 1050 kWh/m^2 och därmed landets högsta.

Solcellsbelysning blir ett effektivt belysningsalternativ på landsbygdens gång- och cykelvägar i landets södra delar, västkusten och där tillgång till el är begränsat. Alternativet blir inte bara ekonomiskt lönsamt utan också mer miljövänligt. När belysningen är helt oberoende av elnätet minskar också koldioxidutsläpp.

Källförteckning

[1] Regeringskansliet, “Sveriges fjärde rapport om utvecklingen av förnybar energi enligt artikel 22 i Direktiv 2009/28/EG”, Regeringskansliet; 30 oktober 2017. Hämtad från: https://www.regeringen.se/4b0d30/contentassets/99f5c437754846f4818d8ad68172f053/sveriges-fjarde-rapport-om-utvecklingen-av-fornybar-energi-enligt-artikel-22-i-direktiv-200928eg

[2] A.R. Jha, Ph.D. “Solar cell Technology and Applications”, Taylor & Francis Group, 2010.

[3] Sandra Lind. ”Efter missnöjet: kommunen backar om gatubelysning”. Svt Nyheter.[Internet] 21 November 2017; Hämtad från: https://www.svt.se/nyheter/lokalt/dalarna/efter-missnojet-kommunen-backar-om-gatubelysning

[4] Nicklas Kihlberg. ”Mörkt och otryggt när Uppsala sparar”. Uppsala Nya Tidning.[Internet] 31 juli 2013; Hämtad från: https://www.unt.se/nyheter/uppsala/morkt-och-otryggt-nar-uppsala-sparar-2527170.aspx

[5] Vägverket. ”Sektion Utformning av vägar och gator”. Vägar och gators utformning (VGU), Borlänge: Vägverket; 2004. 2004:80; 1401-9612.

[6] Pia Heick. ”Ny belysning testas i Stockholm” . Svt Nyheter.[Internet] 1 december 2014 Hämtad från: https://www.svt.se/nyheter/lokalt/stockholm/dyr-gatubelysning-i-stockholm

[7] Available from: http://goyamsolar.com/solar-street-light.php#

[8] Sinetech, Solar Lights. [Internet] 2018. Hämtad från: https://sinetechstore.co.za/product-category/accessories/solar-lights/

[9] [Powerpointpresentation på Internet] Hitechled: 4 December 2015 Hämtad från: https://www.slideshare.net/JamesChen108/hitechled-integrated-solar-led-street-light-vs-other-street-lights-55811765

[10] Available from: https://www.solarlightsmanufacturer.com/allinone-solar-street-lights-s-traditional-solar-street-lights/

[11] Andersson Mats, Green Martin & Hedström Jonas. ”Solceller – från solljus till elektricitet”. svensk byggtjänst; 2002.

[12] Naturskyddsföreningen. ”El från solen – för en ljusare framtid”.[Internet]. Naturskyddsföreningen; 2011.

[13] Available from: http://www.ausindsolar.com.au/solar-products/solar-modules-panels

[14] First Solar. ”PV Technology Comparison”,First Solar, 7 Mars 2011 Hämtad från: http://www.dmphotonics.com/Solar_technologies/Technology_Comparison_PV_NA.pdf

[15] Askari Mohammed Bagher, Mirzaei Mahmoud Abadi Vahid, Mirhabibi Mohsen. Types of Solar Cells Application. *American journal of Optics and Photonics*. Vol. 3, No. 5, 2015, pp. 94-113. doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17

[16] Powalla Michael, Paetel Stefan, Hariskos Dimitrios, Wuerz Roland, Kessler Friedrich, Lechner Peter,Wischmann Wiltraud, Magorian Friedlmeier Theresa. "Engineering". Vol 3, Issue 4, 2017, pp. 445-451.

[17] Solibro Gmbh. "POWER PERFORMANCE: THE SOLIBRO SL2 MODULE" Solibro Gmbh [Internet]. Germany: [Updated 2018] Available from: http://solibro-solar.com/en/product/modules-g200/ https://solibro-solar.com/en/product/module

[18] ExoTech. "Solceller" [Internet] : ExoTech Hämtad från: http://www.exotech.se/

[19] "Polymer Gels for Lithium-ion Battery".[Powerpointpresentation på Internet]. Fiber & Polymer Engineering Department Li Guang Hua; Avaliable: http://slideplayer.com/slide/3452138/

[20] Xingchi Wang, Peter Adelmann, Thomas Reindl. "Use of LiFePO4 Batteries in Stand Alone Solar Stsyem". PV Asia Pacific Conference 2011. Elsevier Ltd, Energy Procedia 25 (2012) p. 135 – 140. doi: 10.1016/j.egypro.2012.07.018

[21] Solar Power Planet Earth. Solar System Batteries [Internet]. Available from: http://solarpowerplanetearth.com/solarsystembatteries.html

[22] Suratsawadee Anuphappharadorn, Sukruedee Sukchai, Chatchai Sirisamphanwong and Nipon Ketjoy." Comparison the economic analysis of the battery between lithium-ion and lead-acid in PV stand-alone application". 11th EMSES. Elsevier Ltd, Energy Procedia 56; 2014 p. 352 – 358. doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.167

[23] Archana M, Mahalahshmi R. "E-Street: LED Powered Intelligent Street Lightning System with Automatic Brightness Adjustment Based On Climatic Conditions and Vehicle Movements". IJAREEIE Vol.3, Special Issue 2, April 2014

[24] SunMaster. Solar Street Light Handbook, A simple, practical guide tol solar street light-designing and installing solar street lightning system [broschyr på internet]. JinHua SunMaster Solar Lighting co.,LTD

[26] LeadingLight AB. ActiveLights Solar [Internet]. Available from http://leadinglight.se/active-lights/

[27] ActiveLights Solar 1.0 [broschyr på internet]. Uppdaterad 19 April 2017. Available from: http://leadinglight.se/wp-content/uploads/2015/04/ActiveLights-Solar-1.0-swe.pdf

[28] ActiveLights Solar 6.0 [broschyr på internet]. Uppdaterad 28 April 2017. Available from:http://leadinglight.se/wp-content/uploads/2017/03/ActiveLights-Solar-6.0-swe.pdf

[29] Projekt-Sölvesborg-ActiveLights-Solar-2.0-swe.pdf [broschyr på internet]. Uppdaterad 4 Mars 2018. Available from http://leadinglight.se/wp-content/uploads/2018/03/Projekt-S%C3%B6lvesborg-ActiveLights-Solar-2.0-swe.pdf

[30] Projekt-Gullholmen-ActiveLights-Solar-1.0-swe.pdf [broschyr internet]. Uppdaterad 2 mars 2018 Avaliable http://leadinglight.se/wp-content/uploads/2018/03/Projekt-Gullholmen-Active-Lights-Solar-1.0-swe.pdf

[31] Jan Kristoffersson, Sustainable Innovation. ”Avancerad styrning av nätansluten respektive solcellsdriven utomhusbelysning” [Internet]. Sverige: Sustainable Innovation i Sverige AB; November 2015.Projektnummer 37619-1. Hämtad från: http://www.sust.se/wp-content/uploads/2016/03/Slutrapport_Avancerad-styrning-av-utomhusbelysning.pdf.

[32] Ejhed Jan, Branzell Per-Henrik, Theocharoudis Dimitris. Evaluation of advanced lighting control systems for outdoor lighting, Results from installations at Bromma and Djurgården [Internet]. KTH; November 2015. Swedish Energy Agency Project number: 37666-1. Available from: https://www.fagerhult.com/globalassets/global/application-areas/outdoor/evaluation-of-advanced-lighting-control-systems.pdf.

[33] Carmanah; “Putting Solar Outdoor Lightning to Work”. Carmanah, 2011; Canada. Available from:
https://carmanah.com/files/docs/brochures/Putting_Solar_Outdoor_Lighting_to_Work.pdf

[34] Frank Joakim. Slutrapport för smart belysning på väg, Nytt ljus [Internet]. Trafikverket; 2014. 2014:063. ISBN 978-91-7467-587-0.

[35] How to design and calculate Solar Street Light system [Internet]. EnGoPlanet; August 21, 2017. Available from: https://www.engoplanet.com/single-post/2017/08/21/How-to-design-and-calculate-Solar-Street-Light-system

[36] Peter Acheampong, Feasibility of using solar PV and light emitting diodes (LED’s) for streetlights in Ghana: A case study of Wenchi municipality [Thesis on Internet]. Kwame Nkrumah; June 2014. Available from: http://ir.knust.edu.gh/bitstream/123456789/7720/1/PETER%20ACHEAMPONG.pdf

[37] Daniel Gómez-Lorente, Ovidio Rabaza, Fernando Aznar-Dols and María José Mercado-Vargas. Economic and Environmental Study of Wineries Powered by Grid-Connected Photovoltaic Systems in Spain. (2): 222

[38] Sveriges Kommuner och Landsting;. Belysning där det behövs – Belysning Längs Statlig Väg. Sveriges Kommuner och Landsting (SKL); 2017.

[39] Persson Axel, Clark Anna, Nilsson Annika, Stigell Erik. Cykeln och cyklisten-omvärld och framtid. Göteborg; 2015. 14212 ;2014:103.

[40] Silvia Anna Gruber. ”Efter vandaliseringen- lamporna plockas bort”. Svt Nyheter.[Internet] 5 November 2014; Hämtas från: https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vastmanland/efter-vandaliseringen-lamporna-plockas-bort

[41] Suri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., Ossenbrink, H. A.. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy (2007), 81(10), pp 1295–1305. doi: 10.1016/j.solener.2006.12.007

[42] Energimyndigheten. Solceller - moduler information om testet [Internet]. Energimyndigheten; 2015 [Uppdaterad 30 september 2015]

[43] Available from: aliexpress.com

[44] Hao Ma. The solar LED street light [Thesis on Internet]. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PADOVA, 2013.

[45] SMHI, Solstrålning i Sverige. SMHI: 12 juni 2015: [Uppdaterad 4 januari 2018] Hämtas från: https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-i-sverige-1.89984

[46] Gidlund Henrik IVtsöe. Solkraft i vägbelysningen [Internet]. Trafikverket; 29 november 2012.

[47] Lekarp Fredrick. På Väg SVERIGES VÄG- OCH INFRASTRUKTURTIDNING. ”Svevia-kampanj vann första pris” [internet]. December 2009. Nr 6. Sidor 14-15.

[48] Jami Nanna. ”Här blir det solcellslampor längs gång- och cykelvägen”. 24 Blekinge [Internet] 12 maj 2017.

[49] Inglèn Stefan. Val av vägbelysningsteknik ur ett LCC-perspektiv [Examensarbete på Internet]. Luleå: Luleå tekniska universitet; 2010.

[50] Bergmark Tord. Dokument A [Internet]. Framtidsgruppen; maj 2013.

[51] Flexsol solution. “Councillor reveals first off-grid solar light posts in Tilburg”. October 4th, 2017.

[52]Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_the_Netherlands#/media/File:SolarGIS-Solar-map-Netherlands-en.png

[53] Flexsol solution. ”The N211 provincial road paves the way for future street lighting”. N/A Available from: https://flexsolsolutions.com/soluxio/solar-light-poles-on-n211-provincial-road/

[54] Stamyr Karl-Johan. Trafikkontoret. ”Byte till energisnålare gatubelysning 2017-2018. Genomförande ”. Trafikkontoret. Dnr T2016-03136; 25 oktober 2016.

[55] Walid Islam, Sazzadur Rahman, Mohammed Minhazur Rahaman, Olioul Islam, Imtiaz Mahmud. Economic Feasibility of Solar Powered Street Lights [Internet]. Bangladesh: doi: 10.13140/2.1.4951.6804.

[56] Engstedt Anna. Länsstyrelsen. ”Kartläggning av klimat- och energirelaterade projekt”. Länsstyrelsen i Jönköpings län; 2015. Nr 2015:16.

[xls] Enkel kalkyl Ahlsell-Energieffektiv.com: Används för Bilaga 1

http://www.ieapvps.org/fileadmin/dam/intranet/task1/IEA_PVPS_Trends_2018_in_Photovoltaic_Applications_03.pdf : Används för Bilaga 2

Bilagor

Bilaga. 1

25	← Antal år som kalkylen ska gälla

Förutsättningar

	GC-väg belysning		
Typ av armatur	PRO 5-25	Solar 1.0	Solar 6.0
Antal armaturer	50	65	50
Pris per armatur exkl ljuskälla	3 000 kr	8 800 kr	20 000 kr
Antal ljuskällor per armatur	1	1	1
Antal ljuskällor	50	65	50
á pris ljuskälla per st.	1 kr	1 kr	1 kr
Ljuskällans effekt (W)	25	1	10
Ange riktvärdet för typ av don se kommentar	1,06		
Ljuskällans totala effekt inkl reducering	26,5	-	-
Livslängd ljuskälla timmar	50 000	50 000	50 000
Uppskattad drifttid per år	4 000	730	730
Uppskattad livslängd ljuskälla år	13	68	68
Antal batterier		65	50
á pris batteri per st.		200 kr	2 000 kr
Uppskattad livslängd batteri		7	7
Elpris per kwh	1,10 kr		

Styrning av anläggning

Typ av närvarostyrning	Närvaro/dagsljus	Närvaro/dagsljus	Närvaro/dagsljus
Ange reduceringseffekt enligt kommentar	0,8		
Total effekt lkuskälla inkl. reducering	21,2	-	-

Investering

Armatur kostnad	150 000 kr	572 000 kr	1 000 000 kr
Ljuskällor kostnad	50 kr	65 kr	50 kr
Summa investering	150 050 kr	572 065 kr	1 000 050 kr

Installationskostnader

Installationstid per armatur			
Antal timmar för utförande	-		
Timkostnad			
Elkabel, klammer, rör mm	1 250 000 kr	39 000 kr	75 000 kr
Summa installation	1 250 000 kr	39 000 kr	75 000 kr
Summa investering och installation	1 400 050 kr	611 065 kr	1 075 050 kr

	Driftskostnad		
Totaleffekt Kwh	4 240	-	-
Energikostnad per år	4 664 kr	- kr	- kr

	Underhållskostnad		
Timpris	500	500	500
Antal ljuskällebyten per timme	1	1	1
Byte alla ljuskällor	25 050	32 565	25 050
Tid mellan byten år	12,5	68,5	68,5
Antal byten under livstiden	2	-	-
Antal batteribyten per timme		15	15
Byte alla batterier		15 167	101 667
Antal byten under livstiden		4	4
Kostnad underhåll totalt	50 100 kr	46 429 kr	357 143 kr
Underhållskostnad fördelat per år	2 004 kr	1 857 kr	14 286 kr

	Summering kostnader		
Kostnad år 1 förbrukning och investering	1 404 714 kr	611 065 kr	1 075 050 kr
Totalkostnad under livslängd	1 566 750 kr	657 494 kr	1 432 193 kr
Besparing under hela livslängden		909 256 kr	134 557 kr
Besparing per år		36 370 kr	5 382 kr
Återbetalningstid investering		16,80	199,74
Besparing i procent		58%	9%

Bilaga. 2

ANNUAL INSTALLED PV CAPACITY (MW) FROM 1992 TO 2017

COUNTRY	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
IEA PVPS COUNTRIES																										
AUSTRALIA	7	2	2	2	3	3	3	2	3	4	5	6	6	8	9	11	30	95	392	883	1098	839	863	1020	867	1309
AUSTRIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	3	2	3	4	22	43	92	76	363	159	152	159	173
BELGIUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	86	557	429	1068	726	264	112	120	201	289
CANADA	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	4	5	7	62	187	277	269	445	633	675	146	249
CHILE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	210	367	555	892
CHINA	0	0	0	0	0	0	0	0	11	5	19	10	10	8	10	20	40	160	500	2700	3560	10680	10640	15150	34550	53068
DENMARK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	3	10	391	156	42	173	70	61
FINLAND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	2	0	0	0	12	17	43
FRANCE	2	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	4	3	2	12	38	104	191	838	1764	1120	654	954	903	596	875
GERMANY	3	1	1	1	4	6	5	8	59	117	117	111	670	951	843	1271	1950	4446	7440	7910	8160	2633	1190	1324	1492	1776
ISRAEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21	45	119	86	105	210	184	104	103
ITALY	8	4	2	2	0	1	1	1	1	1	2	4	5	7	13	50	396	781	2328	9536	3655	1402	409	308	368	400
JAPAN	19	5	7	12	16	32	42	75	122	123	184	223	272	290	287	210	225	483	991	1296	1718	6968	9740	10811	7890	7459
KOREA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	3	5	22	45	276	167	127	79	295	531	926	1134	887	1371
MALAYSIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	29	107	65	60	78	60
MEXICO	0	0	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	9	12	60	67	67	143	285
MOROCCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	5
NETHERLANDS	0	0	0	0	0	0	0	4	3	8	6	18	4	2	2	1	4	11	21	58	220	360	400	437	525	853
NORWAY	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	11	17
PORTUGAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	11	47	48	24	41	69	55	117	49	52	64
SOUTH AFRICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	221	781	92	590	69
SPAIN	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	8	15	110	563	2989	49	486	463	330	86	23	39	18	148
SWEDEN	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	4	8	19	35	48	79	118
SWITZERLAND	5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4	3	7	12	26	37	100	226	319	305	333	270	242
THAILAND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	7	2	1	10	6	193	145	437	475	121	1027	251
TURKEY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	35	208	583	2588
USA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	79	105	160	298	435	829	1920	3193	4946	6245	7500	15135	10682
TOTAL IEA PVPS	46	14	24	19	28	47	57	103	206	265	348	384	1118	1404	1432	2425	6474	7571	14736	28529	25401	31665	34639	41202	66409	83430
TOTAL NON IEA PVPS	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	13	13	4	5	10	86	620	2133	2590	4512	5438	4526	9728	10029	15517
TOTAL	46	14	24	19	28	47	57	103	207	266	349	397	1131	1409	1437	2435	6560	8191	16870	31119	29913	37103	39165	51020	76439	98947

SOURCE SOURCE IEA PVPS & OTHERS.

TRITA CBH-GRU-2019:127