



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 18039

Examensarbete 30 hp
December 2018

Likströmsnät i byggnader

En genomförbarhetsstudie för ett potentiellt smartare och energieffektivare elsystem

Samuel Wennlund



UPPSALA
UNIVERSITET

**Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten**

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

DC-grids in buildings

Samuel Wennlund

The internal distribution grid in buildings is, just like the rest of the grid, based on alternating current technology, even though today most of the electricity consumers in a building use direct current in their final stage. Furthermore the use of photovoltaics, battery systems and electric vehicles are increasing and they also use direct current. Direct current grids in buildings could be a way to minimize the amount of conversions between AC and DC within the building, instead the idea is to centralize the rectification and thereby lower the conversion losses.

The purpose of this thesis is to investigate the phenomenon of DC-grids and the Swedish market for it. This is done with the purpose to explore the feasibility and possibilities of a DC-grid in an office building today. Through a market investigation the solutions and knowledge to this day has been summarized, and is then used to find a recommendation for what parts in an office building that can be supplied with direct current from a DC-grid.

According to the investigation there are solutions in the Swedish market for building an internal DC-grid at 350VDC or +/-380VDC (760VDC) depending on the priority of the project in question. Since not all electricity consumers can use DC a hybrid between AC and DC is most relevant today. Electrical units that can use direct current today are lighting, ventilation, laptops, mobile phones, tablets, servers and smaller office appliances and telephony. Possibly heat pumps and other pumps might also be able to be supplied by direct current. Electrical units that still need to be supplied by AC are copier rooms, elevators, kitchen areas and garages with the EV chargers.

Handledare: Fredrik Ramsfeldt & Malena Rydh
Ämnesgranskare: Juan de Santiago
Examinator: Elísabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 18039

Sammanfattning (Svenska)

Idag är byggnaders interna distributionsnät sedan länge växelströmsbaserat, precis som resten av elnätet. Numera använder dock de flesta apparaterna och elförbrukarna i en byggnad likström vid slutanvändningen. Dessutom ökar användningen av solceller, batterilager och elbilar snabbt och alla dessa bygger också på likström. Likströmsnät i byggnader är en idé om att minska antalet omvandlingar mellan växelström och likström inom byggnaden, istället kan man ha en effektivare centraliserad likriktning, därmed kan man minska omvandlingsförlusterna.

Marknaden för denna lågspända likströmsanvändning (LVDC) är fortfarande ung men under snabb utveckling. För att marknaden ska kunna ta fart krävs tydliga standardiseringar att följa och kunskaper om området måste spridas.

Syftet med detta arbete är att undersöka fenomenet likströmsnät samt de svenska marknadsaktörerna inom området. Detta för att komma fram till genomförbarheten och möjligheterna för ett likströmsnät i en kontorsbyggnad idag. Genom en marknadsundersökning har dagens lösningar och kunskap i Sverige kartlagts, detta har sedan använts för att ta fram en rekommendation om vilka delar i byggnaden som kan kopplas till och drivas av ett likströmsnät.

Enligt undersökningen finns idag möjligheter på den svenska marknaden att bygga ett distribuerande likströmsnät på 350VDC eller +/-380VDC (760VDC) beroende på vilka fördelar som prioriteras i det aktuella projektet. Då inte alla elapparater kan matas med likström idag blir en hybrid mellan växelström och likström det rimliga valet. Delar som kan drivas med likström idag är belysning, ventilation, laptops, mobiler, surfplattor, servrar och mindre kontorsapparater och telefoni. Eventuellt kan även värmepumpar och pumpar kopplas till likströmsnätet. Delarna som idag fortfarande behöver växelströmsmatning är kopiantrummet, hissen, kökspentryt och garaget med elbilsaddare.

Förord

Det här examensarbetet utgör den avslutande delen i civilingenjörsprogrammet System i teknik och samhälle (STS) vid Uppsala Universitet och omfattar 30hp. Arbetet har utförts i samarbete med företaget Incoord i Stockholm.

Först vill jag tacka Malena Rydh och Fredrik Ramsfeldt som har varit mina handledare på Incoord och alltid tagit sig tid att svara på alla mina trevande och många grundläggande frågor. Sedan vill jag också tacka min ämnesgranskare Juan de Santiago på Uppsala universitet som hela tiden varit positiv till mitt arbete och väglett mig till ett komplett färdigt akademiskt examensarbete. Dessutom vill jag tacka alla anställda på Incoord som har bemött mig med en trevlig, inspirerande och inkluderande arbetsplats (som lett till att jag vill och ska påbörja min karriär på företaget). Till sist vill jag även tacka min familj, vänner och inte minst alla kompisar i studentboendet Nedre Fjellet i Uppsala som stöttat och funnits där under hela arbetet som jag i övrigt gjort på egen hand.

Samuel Wennlund,

Uppsala, December 2018

Lista över termer och förkortningar

Termer & förkortningar	Beskrivning
DC	Likström (Direct current)
AC	Växelström (Alternating current)
VDC	Likspänning/likström
VAC	Växelspänning/växelström
LVDC	Low voltage direct current, 0-1500VDC (IEC, 2017, p. 3)
EC-motor	Electronically commutated motor (elektroniskt kommuterande motor)
PFC	Power Factor Correction
SMPS	Switching mode power supply
Trefas-system	Trefas-system består av tre faser sinusformad växelström som är förskjutna 120° gentemot varandra vilket gör att det inte krävs någon återledare vid symmetrisk last, men en nolledare finns vid obalanserad last. Trefas-system ligger på 400V fas till fas och 230V fas till nollan vid lågspänningsinstallationer.
LED-driver	Drivdon för LED-belysning, matas med en inspanning som sedan regleras in i LED-belysningen.
Edison-system	Ett Edison-system bygger på en DC-topologi med en positiv, en negativ och en neutral fas. Exempelvis +/- 380VDC vilket resulterar i 760VDC mellan den negativa och positiva fasen.

Innehållsförteckning

Sammanfattning (Svenska).....	i
Förord.....	ii
Lista över termer och förkortningar	iii
1. Inledning	1
1.1 Syfte och frågeställningar.....	2
1.2 Disposition.....	2
1.3 Avgränsningar.....	2
2. Bakgrund	3
2.1 Elnätet.....	3
2.2 Energianvändning i byggnader	3
2.3 Växelströmsnät i byggnader	3
2.4 Likströmsnät i byggnader.....	5
2.5 Omvandlingar.....	5
2.6 Risker med likström	6
2.7 Exempel på aktörer och forskning internationellt.....	6
3. Metod.....	8
3.1 Källkritik	9
3.2 Intervjuer & Seminarium.....	9
3.3 Kontorsbyggnads komponenter och laster.....	11
4. Empiri	12
4.1 Likströmsnät.....	12
4.1.1 Chalmers Tekniska Högskola.....	12
4.1.2 Ferroamps likströmsnät.....	12
4.1.3 Netpowers (Comsys) likströmsnät.....	15
4.1.4 Ochnos USB-C-lösning	16
4.1.5 Nexans kommentarer	17
4.2 Standarder.....	18
4.3 Spänningsnivåer.....	19
4.4 Brytare	20
4.5 Säkringar	21
4.6 Kablar.....	21
4.7 Belysning	23
4.8 Kontakter & vägguttag.....	25
4.9 Fläktar	28
4.10 Pumpar och värmepumpar	29
4.11 Kylning.....	29

4.12	Serverar	30
4.13	Apparater	30
4.14	Batterier	31
4.15	Solceller	33
4.16	Hissar	34
4.17	Elbilar & laddning	34
4.18	Energitjänster	36
4.19	Lagar och regelverk	36
4.20	Befintliga projekt i Sverige	37
4.20.1	Forskningsvillan (RISE)	37
4.20.2	Likström och Ö-drift i Åsaliden, Växjö (RISE)	37
4.20.3	Vasakronans DC-projekt	38
4.20.4	A Working Lab (Akademiska hus)	38
4.21	Framtiden och hinder för utvecklingen	39
5.	Resultat	40
6.	Diskussion	42
6.1	Till vilken utsträckning är likströmsnät och DC-drift inom kontorsbyggnader möjlig med befintlig teknik i Sverige idag?	43
6.2	Vilka val bör göras vid implementering av DC-nät i en kontorsbyggnad idag utifrån genomförbarhet samt resurs- och energieffektiviserande fördelar?	45
6.3	Vart är LVDC-marknaden på väg?	46
7.	Slutsatser	47
8.	Förslag på vidare studier	49
	Referenser	50
	Appendix	53
	Intervjufrågor	53

1. Inledning

Idag bygger hela världens elnät på växelström, detta blev standarden efter en kamp mellan förespråkarna Nikola Tesla (AC) och Thomas Edison (DC) i slutet av 1800-talet. (Schavemaker & Sluis, 2008, p. 4) Växelströmmen vann då bland annat för att den var lätt att transformera om till olika spänningsnivåer. Idag har dock tekniken utvecklats och det är möjligt att transformera även likströmmen, men växelströmmen är fortfarande standarden och det som nästan hela vårt elsystem bygger på. (Schavemaker & Sluis, 2008, p. 5) Sveriges elnät är uppbyggt av nästan 552000km växelströmsledning (Stamnät, regionnät och lokalnät) och likström är idag inte ett alternativ till växelströmmen där, men det finns flera områden där likströmmen är lämplig och kan komplettera det befintliga nätet. (Svenska kraftnät, 2014, pp. 10-12)

Elsystemen i byggnader bygger på växelström precis som i elnätet. Vi ser dock samtidigt en trend av att antalet elbilar och solceller ökar (Elbilsstatistik, 2018) (Lindahl, 2016, p. 6) och dessa tekniker bygger på likström. Även en stor del av alla andra elektriska apparater i hem och kontor (Elforsk, 1999, p. 5) samt energilager som batterier använder likström. Vid installation av solceller (DC) på en byggnad kopplas dessa idag in med en växelriktare till elsystemet för att (oftast) sedan åter likriktas inför användning i till exempel datorn, mobilen eller elbilen. Vid konverteringarna mellan lik- och växelström sker energiförluster. Mycket utrustning i kontor och hushåll använder ofta små enkla likriktare med låg verkningsgrad, då skulle direkt likströmsdrift med centraliserad likriktning kunna minska energiförlusterna. (Elforsk, 1999, p. 19)

Energianvändningen i bostäder och service står idag för nästan 26% av Sveriges energianvändning (146TWh/564TWh). (Energimyndigheten, 2018, pp. 3-4) Av den energin står elen för hälften av användningen (73TWh). (Energimyndigheten, 2018, p. 8) Detta gör att effektiviseringar av elanvändningen i byggnader kan leda till stor påverkan av Sveriges totala energianvändning.

Likströmsnät är framförallt aktuellt i byggnader med egen solelsproduktion och just kontorsbyggnader använder energi främst under dagen då solen skiner. Detta maximerar förutsättningarna för likströmsnätet och självkonsumtionen av den egenproducerade elen och är därför ett bra ställe att börja på.

Det finns många aspekter att ta hänsyn till för att se om DC-nät kan vara användbart och applicerbart i praktiken. Denna studie ämnar undersöka möjligheterna och begränsningarna med likströmsnät i kontorsbyggnader i Sverige idag. Detta genom att undersöka dagens svenska marknad för att se genomförbarheten med dagens förhållanden samt att ge en bild av den framtida utvecklingen för DC-nät.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta arbete är att belysa och undersöka likströmsnät och dess möjligheter samt att göra en genomförbarhetsstudie för likströmsnät i en kontorsbyggnad i Sverige idag. Genom en teknisk marknadsundersökning kartläggs tillgängligheten av produkter och kunskap på den svenska marknaden. Syftet leder till undersökningens frågeställningar:

- Till vilken utsträckning är likströmsnät och DC-drift inom kontorsbyggnader möjlig med befintlig teknik i Sverige idag?
- Vilka val bör göras vid implementering av DC-nät i en kontorsbyggnad idag utifrån genomförbarhet samt resurs- och energieffektiviserande fördelar?
- Vart är LVDC-marknaden på väg?

1.2 Disposition

Efter det inledande kapitlet presenteras i kapitel 2 bakgrunden till detta arbete och likströmsnät i byggnader sätts i ett sammanhang där idén förklaras vidare och dess skillnader från konventionella växelströmsnät. Till sist sammanställs även några befintliga internationella aktiviteter på området. Därefter förklaras metodiken (Kapitel 3) och urval av källor samt presentation av dessa. Dessutom sammanställs i Tabell 4 de huvudsakliga lasterna och komponenterna i en kontorsbyggnad som ämnas användas för ett avsmalnat perspektiv på empirin och sedan som ram för resultatet över vad som är möjligt. Empirin (kapitel 5) inleds sedan med information om likströmsnät och befintliga systemlösningar för att sedan gå in på lösningar för de olika komponenterna som finns i en byggnad. Kapitlet avslutas sedan med regelverk och aktörers framtidstankar om området. I resultatet (Kapitel 6) sammanställs implementerbarheten utifrån tidigare nämnda Tabell 4. Resultaten och frågeställningarna diskuteras sedan vidare i Kapitel 7 för att sedan landa i ett resultat med rekommendationer i slutsatsen (Kapitel 8).

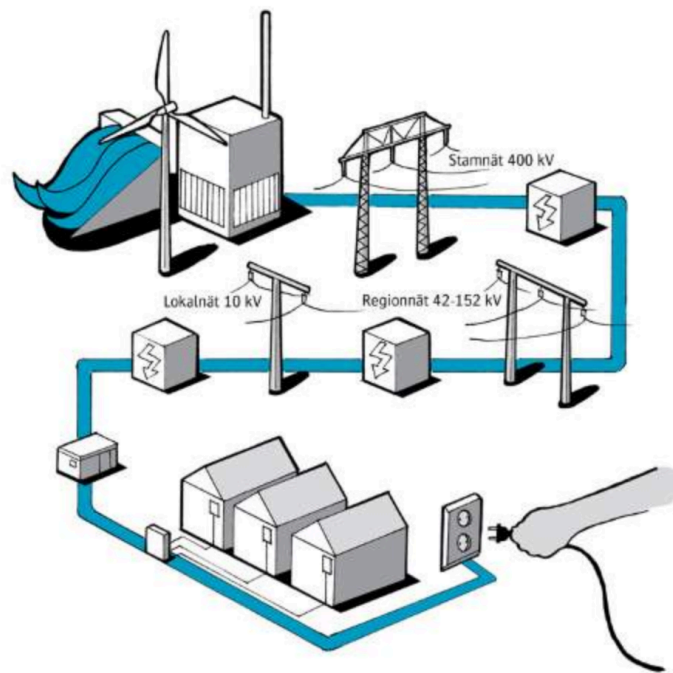
1.3 Avgränsningar

- I arbetet undersöks framförallt likströmsnät för intern distribution inom byggnaden. Då talar man om LVDC som enligt IEC ligger mellan 0-1500VDC (IEC, 2017, p. 3)
- Analysen begränsas till genomförbarheten i kontorsbyggnader för att se vilka delar inom dessa som skulle kunna nyttja likströmsnät och DC-drift.
- Likströmsnät är idag framförallt intressant i byggnader med lokal elproduktion (tex solceller) och batterilager installerade som båda bygger på DC. Därför antas detta som en naturlig del i utformningen av ett likströmsnät för en kontorsbyggnad.

2. Bakgrund

2.1 Elnätet

Sveriges (och världens) elnät är uppbyggt på växelström i flera steg med olika spänningsnivåer. Det mest högspända stamnätet överför elkraft långa sträckor från bland annat vattenkraften i norr på spänningar mellan 220-400kV. Därefter transformeras spänningen ner till regionnäten på 40-130kV. Sedan kommer de mindre lokalnäten som ligger på 10-20kV. Till sist inför användning i byggnader som kontor och bostäder dras vanligtvis lågspänning in på 400V. (Svenska kraftnät, 2014, pp. 10-13) Detta projekt behandlar främst likströmsnät internt i byggnader vilket är innanför den indragna lågspänningen 400VAC.



Figur 1: Överblick av elnätet (Vindlov, 2018)

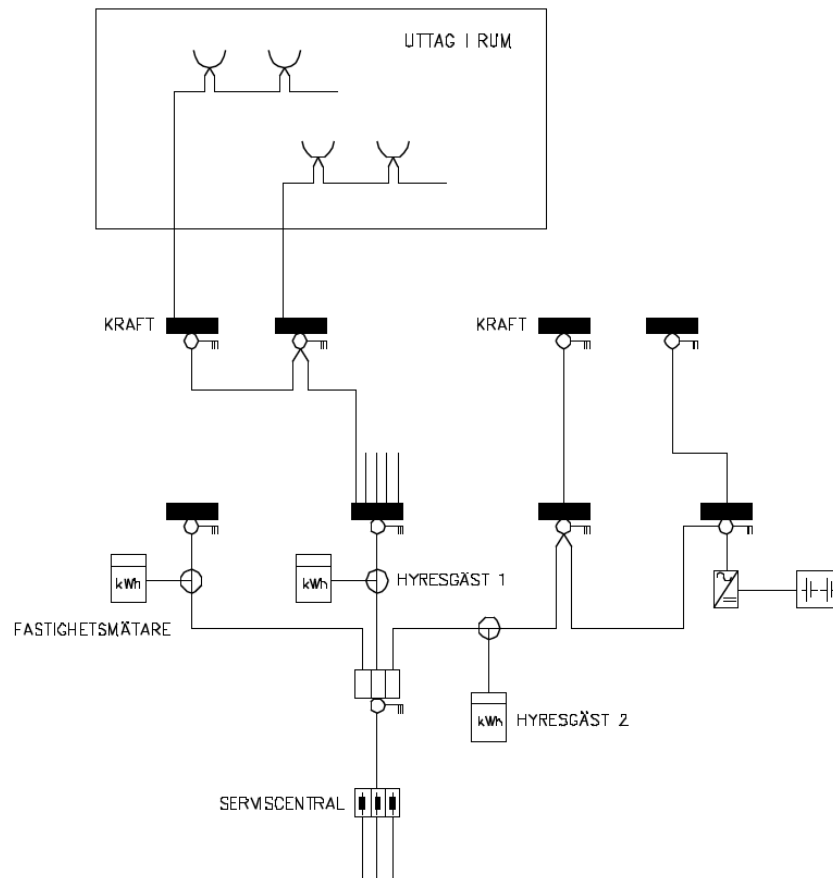
2.2 Energianvändning i byggnader

Den övergripande energianvändningen i byggnader kan sammanfattas till uppvärmning, varmvatten, ventilation, klimatkyla, belysning och apparater. Olika sorters byggnader har olika användarprofiler för när energin används som mest. Exempel på detta är att bostäder använder som mest energi på kvällar och helger medan kontor använder mest på dagtid under veckodagarna. Energiförbrukningen skiftar även mycket över året och dess årstider. (IVA, 2002, pp. 4-6) Det här arbetet kommer att landa i ett fokus på kontorslokaler och implementation av likströmsnät i dessa.

2.3 Växelströmsnät i byggnader

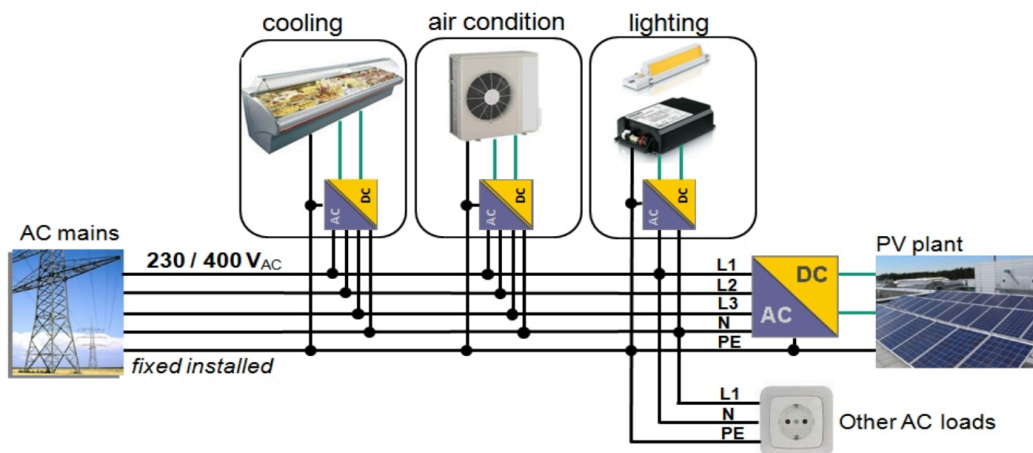
Kommersiella fastigheter och bostadshus har idag oftast lågspänningsanslutning på 400VAC via en serviscentral med huvudbrytare, servissäkring och fördelningssäkringar. I kontorsfastigheter finns flera olika lösningar för elförsörjning beroende hyresgästens behov men ett typiskt exempel visas i *figur 2*. Gränsen för ansvar mellan fastighetsägaren/hyresvärden och hyresgästen är vanligtvis inte tydligt reglerad utan generellt

brukar standard-installationer levereras, sedan får hyresgästen på egen bekostnad vidare sköta sin utrustning. (Elforsk, 1999, pp. 10-11)



Figur 2: . Exempel på elförsörjning i kontorsbyggnad idag (Elforsk, 1999, p. 11)

Många apparater använder dock idag likström och tvingas likriktad växelspanningen för sin funktion. (Elforsk, 1999, p. 8)

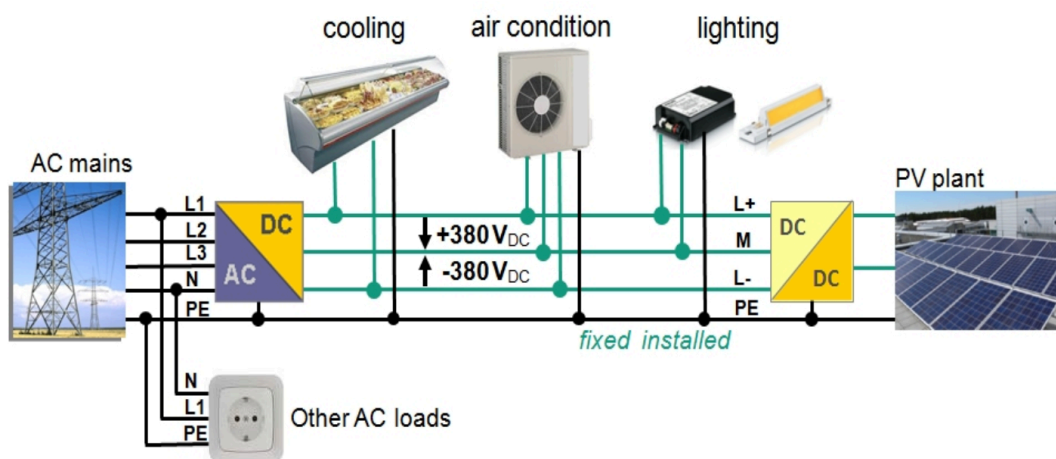


Figur 3. Exempel på växelströmsbaserad arkitektur i byggnad (DCC+G, 2018)

2.4 Likströmsnät i byggnader

Idag drivs de flesta produkter på likström i slutledet vilket leder till att den matade växelströmmen måste likriktas, antingen med en konverterare på sladden eller internt i aggregatet. Likriktarsteget leder till energiförluster och extra materialåtgång. Likriktningen måste dock ske någon gång från den indragna växelströmmen, men om denna process centraliseras kan den göras effektivare samt potentiellt ge möjligheter att utnyttja värmeförluster till förslagsvis vattenuppvärmning. Det talar för att en centraliserad likriktning och sedan distribution av likström i byggnaden kan leda till många fördelar inom energieffektivitet. (Thiringer, 2017, p. 7)

DC Components and Grids (DCC+G) har gjort en arkitektur med ett $\pm 380\text{VDC}$ nät med en centraliserad likriktning och inkopplade solceller enligt *figur 4* som kan jämföras med den växelströmsbaserade i *figur 3*.



Figur 4. Exempel på likströmsbaserad arkitektur med $\pm 380\text{VDC}$ och centraliserad likriktning (DCC+G, 2018)

2.5 Omvandlingar

Vid omvandlingar mellan lik- och växelström sker förluster i form av värme. Vid färre antal och effektivare omvandlingar kan energi sparas. Likriktarsteget i en omvandling av AC till DC leder till en energiförlust på ca 3-5%. (Thiringer, 2017, p. 7) Växelström med likriktare drar energi även vid standby, detta leder till standby-förluster vilket skulle kunna minimeras i och med likströmsanvändning. Vid ett likströmsnät skulle endast en likriktning mot nätet ske medans resten av transformeringarna skulle ske med DC/DC-konverterare. (Webb, 2013, p. 3)

Traditionella likriktare och transformatorer har numera i princip ersatts av tekniken switching mode power supply (SMPS). Denna teknik bygger på att elektronisk strömbrytare hackar upp DC-spänning med en hög frekvens som sedan likriktas till en önskad likspänning. Genom att styra frekvensen på switchen kan alltså utspänningen regleras. Tack vare de höga frekvenserna kan en hög verkningsgrad nås på mer än 80%. Den höga frekvensen gör också omvandlaren mycket mindre och lättare än en traditionell transformator som används vid elnätets 50Hz. Det finns två varianter av denna omvandlare, primärswitchade och

sekundärswitchade. De sekundärswitchade använder en traditionell AC/AC-transformator för att först sänka AC-spänningen men dessa är idag föråldrade. Idag används främst primärswitchade omvandlare som klarar av nätspänningen direkt. Det är alltså i grunden en DC/DC-konverterare, men om inspänningen till en primärswitchad omvandlare består av AC är första steget i omvandlaren en likriktare (AC/DC-konverterare). Likström kan ta sig igenom en likriktare vilket ofta gör det möjligt för direkt likströmsdrift. Exempel på moderna användare av SMPS-tekniken är laddare till datorer, mobiler och annan elektronik samt aggregat till olika apparater. (Wikipedia, 2018a) Även om direkt likströmsdrift ofta är möjlig för dessa tillämpningarna måste produkterna certifieras för både AC och DC med en CE-märkning för detta. (Elforsk, 1999, p. 9)

2.6 Risker med likström

Ur personsäkerhetsperspektivet är likström inte farligt på samma sätt som växelström. För en fint filtrerad likström genom kroppen och nervsystemet uppstår inte kramp i hjärtat och musklerna som vid växelström. Är likströmmen dock pulserande påverkas kroppen liknande fallet med växelström. Vid en stöt från en likströmskabel blir reaktionen en reflex att rycka bort kontakten med ledaren och därmed bryta förbindelsen. De skador som kan ske är då främst sekundära så som fallskador. I värsta fall kan det uppstå brännskador vid en längre kortslutning genom kroppen, men detta är även en fara med växelström. (Elforsk, 1999, p. 19)

Brandrisken i och med jordfel och kortslutningar är större med likström än växelström då ingen nolla passeras vid DC där strömmen kan brytas. Står ett av dessa fel på för länge uppstår värme som senare kan leda till brand. För att minimera dessa problem behöver smart kraftelektronik, jordfelsövervakning och brytelement tas fram och implementeras. (Elforsk, 1999, p. 19)

Vad gäller magnetfält bildas det ett statiskt magnetfält kring likströmsledning likt jordens eget magnetfält. Jordens magnetfält är i storleksordningen $50\mu\text{T}$ (mikrotesla) och enligt befintliga kunskaper påverkas inte människan av detta. Vid växlande magnetfält som uppstår kring växelström kan svaga elektriska strömmar bildas i kroppen vilket kan ge reaktioner på cellerna, men det finns idag inga bevis på att fenomenet är skadligt. Dock finns många oklarheter kring detta och försiktighet bör iakttas och fälten begränsas. (Elforsk, 1999, pp. 19-20)

2.7 Exempel på aktörer och forskning internationellt

Harry Stokman kommer från Holland och har en bakgrund i kraftelektronik med specialisering inom höga strömmar. Han är ett av de kändaste namnen inom likströmsnätsbranschen. I 25 år har Stokman dedikerat sitt liv till att utveckla likströmsnätsbranschen och tror starkt på att detta är framtiden. Han är en entreprenör och utvecklare som bland annat arbetar tillsammans med två universitet och nationellt i en politisk arbetsgrupp för energiinfrastruktur. Utöver detta föreläser Stokman om erfarenheter och kunskap inom området för studenter och marknadsaktörer. I sitt företag Direct Current BV driver de uppdraget att göra DC-användningen möjlig. Detta sker genom att hitta lösningar för

I en artikel i Journal of Clean Energy Technologies vid namn *Voltage Standardization of DC Distribution System for Residential Buildings* sammanfattas och diskuteras flera olika genomförda undersökningar på området. I en av undersökningarna (Paajanen, et al., 2009, pp. 1-4) prövades fem olika scenarier med hybrider av AC och DC samt rena DC-nät i byggnader och alla fall ledde till både energi- och kostnadsförbättringar. Undersökningen antog spänningar mellan 220-750VDC och konverteringar som var fördelaktiga för DC. En annan undersökning med ett hybridnät av AC och DC samt energilagring kom fram till små energibesparingar vad gäller ledningarna i en DC-distribution. En ytterligare undersökning rekommenderar endast likströmsdistribution vid lokal DC-produktion. (Chauhan, et al., 2016)

För den intresserade finns ytterligare ett par aktuella projekt och aktörer inom området som ej tas upp närmare här, bland dessa finns Living Laboratory vid Aalborg University i Danmark och Microgrid for office vid Obihiro City, Hokkaido i Japan.

Denna bakgrund sätter byggnadens funktion och elsystem i ett sammanhang och pekar på några av aspekterna som skiljer likströmsnäten från de konventionella AC-näten. Dessutom visas på internationella aktiviteter som styrker DC-näts relevans i samtiden och framtiden. Detta ämnar belysa några av likströmsnätens egenskaper och sätter marknaden i perspektiv inför undersökningen.

3. Metod

Arbetet inleds med en omfattande litteraturstudie för att bygga en kunskapsgrund inför intervjuerna med marknadsaktörer.

För marknadsundersökningen genomförs semistrukturerade intervjuer för att få svar på önskade frågor men fortfarande vara öppen för att få reda på information som tidigare inte var känt som relevant. Dessa intervjuer genomförs framförallt genom telefonintervjuer då dessa relevanta aktörer är utspridda över Sverige och att det lett till en ökad tidseffektivitet. I vissa fall sker kommunikation via mail som komplement eller förstahandskommunikation.

Utöver intervjuer används även ett deltagande i ett DC-seminarium som informationskälla. DC-seminariet arrangerades av Chalmers Tekniska Högskola och forskningsinstitutet RISE på Teknikparkens konferenscentrum på Chalmers i Göteborg 2018-09-13. Syftet med detta var att samla Sveriges aktörer som arbetar för en omställning till DC. Detta för att presentera idéer och lösningar, samla erfarenheter samt diskutera hur arbetet ska fortgå. Detta har blivit mer relevant i och med utvecklingen av solceller, energilager och elbilar som alla använder likström. 2017 deltog ca 20st personer och 2018 deltog drygt 60st på seminariet. Vidare har även internationella aktörer yttrat ett intresse vilket har lett till planer att nästa år (2019) hålla seminariet på engelska. (Chalmers & RISE, 2018) För att samla informationen under seminariet fördes löpande anteckningar och alla föreläsningarna spelades in, sedan erhöles även alla föreläsningsslides från dagen. Sammanfattade framtida hinder i *Tabell 5* kommer från seminariets avslutande del där alla föreläsare, var för sig, fick yttra sig om detta. Sedan

grupperades och sammanställdes dessa efter vilka som ansågs relevanta utifrån ett marknadsperspektiv.

Incoord installationsCoordinator AB är företaget som detta examensarbete genomförs tillsammans med. Incoord är ett teknik-konsult-företag med ett starkt hållbarhetsfokus som arbetar med allt inom byggnaders installationssystem vad gäller projektering, utredning och kalkylering. Några delar av detta är VVS, energi, el och tele samt hållbart byggande från vaggan till graven. (Incoord, 2018) Likströmsnät i byggnader är en relativt ny energieffektiviserande idé som ännu är förhållandevis outvecklad, men fenomenet är snabbt växande och kan komma att bli större i framtiden. Därav ligger det i Incoords intresse att följa med i utvecklingen och vara uppdaterade på genomförbarheten och relevansen av denna tekniska lösning inför kommande projekt. Kontorsbyggnader passar även väl in på Incoords typ av projekt, de har erfarenhet av denna typ av byggnader och vad som krävs för dessa. Därav har handledare från företaget använts för att resonera kring relevans och krav på de olika delarna inom elsystemet.

Intervjuobjekten väljs efter strävan att täcka majoriteten av områdena och komponenterna inom likströmsnät i byggnader. Dessa antas som några av de mest relevanta aktörerna inom området i Sverige idag efter diskussion med anställda på Incoord, vidare efterforskningar samt utefter vilka som deltagit på Chalmers och RISEs arrangerade DC-seminarium.

3.1 Källkritik

De flesta intervjuer har varit med marknadsaktörer som har ett affärsmässigt intresse vilket kan ha vinklat en del av den insamlade informationen till deras fördel. Den verkliga effektiviteten hos likströmsnät finns det mindre färdigställd data på, men de flesta undersökningarna visar på energieffektiviseringar vid användning av DC-distribution vilket tyder på att detta är fallet.

3.2 Intervjuer & Seminarium

Tabell 1. Föreläsare på DC-Seminarium (2018-09-13)

Företag	Område	Föreläsare	Titel på föreläsning
Energimyndigheten	Statlig myndighet	Fredrik Lundström	Forskning och innovation inom elsystemet
RISE	Forskningsinstitut	Patrik Ollas	Från solel till användare med minsta möjliga förlust (Forskningsvillan)
Ochno	USB-C-distribution	Olof Ermis	USB Type-C för smarta likströmsnät
RISE	Forskningsinstitut	Teresita Qvarnström	Likström och Ö-drift i Åsaliden, Växjö

Ferroamp	Komplett Likströmsnät	Anders Becker	DC-nät parallellt med konventionella AC-nät – fördelar och utmaningar
Chalmers Tekniska Högskola	Likströmsforskning	Torbjörn Thiringer	Energieffektivitet vid AC & DC i slutdistributionen
Akademiska hus	Fastighetsbolag	Jonas Hansson	A Working Lab, innovationsarena, kontorsbyggnad
Comsys Netpower	Komplett Likströmsnät	Stefan Lidström	We live in a DC world
Micropower Lionova	Batterier	Anna Tomsic	Batteridimensionering för olika spänningsnivåer

Tabell 2. Intervjuer

Företag	Område	Intervjuperson	Befattning	Intervjutillfälle	Intervjutyp
Ferroamp	Komplett Likströmsnät	Mats Karlström	Medgrundare & köp och sälj.	2018-09-03	Telefonintervju
Comsys Netpower	Komplett Likströmsnät	Stefan Lidström	Grundare & affärsområdeschef.	2018-09-11	Telefonintervju
Ochno	USB-C-distribution	Olof Ermis	VD & medgrundare	2018-09-05	Telefonintervju
IV	Fläktar	Görgen Andersson	Planering Mekanik	2018-09-04	Telefonintervju
Electrolux Laundry Systems	Tvättutrustning	Mattias Johansson	Utvecklingschef	2018-09-05	Telefonintervju
Fagerhult	Belysning	Daniel Järpehult	Laboratory manager	2018-09-07	Mailintervju
Helvar	Belysning	Max Björkgren	Senior advisor	2018-09-03	Telefonintervju
Philips Lighting	Belysning	Jonas Modigh	Business development manager	2018-08-30	Telefonintervju
Flux AB	Belysning	Mats Bruer	VD	2018-07-02	Mailintervju
Nexans	Kablar	Inge Adolfsson	Teknisk chef	2018-08-30	Telefonintervju
Draka	Kablar	Kristoffer Berglund	Teknisk chef	2018-08-30	Telefonintervju
Vasakronan	Fastighetsbolag	Ulf Näslund	Teknisk chef	2018-09-03	Telefonintervju
KONE	Hissar	Olof Ström	Chief Field support	2018-09-04	Mailintervju

Tabell 3. Uteblivna intervjuer (men relevanta aktörer)

Företag	Område	Anledning
---------	--------	-----------

Chargestorm	Laddstationer för elbilar	Ingen återkoppling på mail
Electrolux hemelektronik	Hemelektronik	Inget svar i telefon
Energimyndigheten	Statlig myndighet (DC-nät i tidigare huvudkontor)	Inget svar i telefon
Fläktwoods	Fläktar	Inget svar i telefon

3.3 Kontorsbyggnads komponenter och laster

I *Tabell 4* kartläggs de huvudsakliga komponenterna och lasterna i en vanlig kontorsbyggnad. Dessa används sedan för att få ett avsmalnat resultat av undersökningen om vilka delar av byggnadens elkomponenter som kan använda DC enligt dagens förutsättningar i Sverige. Den samlade informationen ämnar att beröra vid alla delar i *Tabell 4*.

Tabell 4. Huvudsakliga komponenter och laster i en vanlig kontorsbyggnad (Rydh, 2018)

Komponenter och laster i kontorsbyggnad	Beskrivning
Internt distributionsnät	Distribuerar elkraft till hela byggnaden. Nät kopplat till det utanförbyggande distributionsnätet genom ett ställverk med en huvudsäkring. Oftast 400V in, sedan uppdelad till specifika trefaslaster och delad ut till enfas-laster på 230VAC.
Belysning	Främst LED-belysning idag
Vägguttag & kontakter	För inkoppling av elprodukter
Hissar	Hög effektanvändare, vanligtvis trefas-matad
Pentry (köksdel)	Diskmaskin och kaffeapparat mm
Ventilation	Fläktar
Värmepumpar	För värme
Pumpar	I undercentralen, för bland annat varm/kallvatten
Solceller (elproducent)	I denna undersökning antas kontorsbyggnader med DC-nät även ha solceller installerade för lokal elproduktion.
Kylning	Komfortkyla
Batterilager	Relevant vid DC-installationer för backup, effekttopsreducering eller ökad självkonsumtion av solel.
Elbilar	Elbilsladdning i garage
Konferensrumsutrustning	Projektorer och skärmar mm
Laptops	PC och Macbooks
Stationära datorer	Större aggregat än laptops, extern skärm

Mobiltelefoner & surfplattor	Android (mobiler & surfplattor) och Apple (Iphone & Ipad)
Serverar	För datorsystem, igång dygnet runt
Kopieringsmaskin & kontorsmaskiner	Större maskiner i kontorsmiljön
Mindre kontorsapparater & telefoni	Elektronik och telefoni i kontorsmiljö

4. Empiri

Detta kapitel är menat att sammanställa information, erfarenheter och perspektiv från intervjuer och ett DC-seminarium med marknadsaktörer inom DC i Sverige idag (2018). Detta görs under antagna relevanta rubriker för likströmsnätens olika delar. Bland dessa ingår delarna från *tabell 4* men också standarder, spänningsnivåer, säkerhet, kablar, energitjänster, lagar och regelverk samt framtiden och hinder för utvecklingen. Tillsammans ämnar detta skapa förståelse för helheten vad gäller likströmsnät samt ge svar på frågeställningarna.

4.1 Likströmsnät

4.1.1 Chalmers Tekniska Högskola

Chalmers Tekniska Högskola har gjort forskning på besparingspotential, komponenters och transmissioners förluster samt identifiering av vidare forskningsbehov. I forskningsprojektet har de studerat en teoretisk villagrupp ihopkopplad med ett likströmsnät samt interna likströmsnät i byggnaderna. I sina resultat har de inte hittat några stora energivinster utanför byggnaderna men internt finns vinster att finna. I deras teoretiska fall kan energieffektiviseringar på mellan 0-50% nås beroende på fall. Störst vinster kan nås i byggnader med fjärr- eller bergvärme, induktionsspis (kan använda DC) samt fler moderna DC-matade laster. En annan stor påverkande faktor är verkningsgraden i den centraliserade likriktaren. (Thiringer, 2018)

4.1.2 Ferroamps likströmsnät

Ferroamp började med idén att bygga en bidirektionell växelriktare med en unik funktion att göra en fasbalansering mellan faserna. Detta innebär att man hela tiden mäter på huvudsäkringens och när strömmen stiger i en av faserna på grund av högre effektuttag, vid till exempel elbilsaddning, så kan man överföra energi från de två andra faserna. De omvandlar då den energin till likström och adderar in den i den förstnämnda fasen, på så vis kan de balansera strömmarna och behålla den totala effekten genom huvudsäkringens lägre, en lägre effekt genom huvudsäkringens kan leda till lägre kostnader i och med mindre dimensioner och elabonnemang. Till denna växelriktare kunde de också koppla in solceller och batterier. I början var detta alltså som en vanlig strängväxelriktare men med anslutning till batterier. Denna produkt kallar de för Energyhub och den började säljas som en enskild produkt 2014. (Karlström, 2018)

Vidare såg de en möjlighet att utveckla fler komponenter/produkter som skulle kunna arbeta tillsammans med denna Energyhub via ett likströmsnät. Detta var inte planen från början men blev en naturlig utveckling då man såg många fördelar med likströmssystemet. (Karlström, 2018)

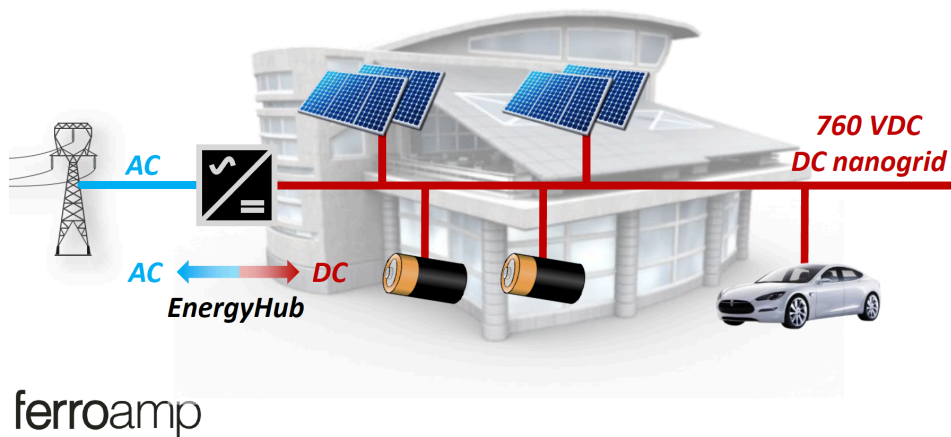
Då de såg fler möjligheter med ett sammankopplande likströmsnät utvecklade de en DC/DC-konverterare med en effektoptimerare, jordfelssökning och övervakning. Därmed kunde de koppla in solsträngsoptimerarna så nära solcellerna som möjligt, koppla ihop dem in i en DC-central med en varsin säkring för plus och minus-polerna och spänna upp ett 760VDC nät på ett säkert sätt. Sedan transporteras elen som 760VDC (+/-380VDC) likspänning till den centrala Energyhuben som sitter vid huvudsäkringen. (Karlström, 2018) Se vidare rubriken *Spänningsnivåer* för förklaring av val av spänningsnivå.

Batterier som kopplas till Ferroamps likströmsnät kopplas in via en ESO (Energy Storage Optimizer/Energilageroptimerare) som kommunicerar med resten av likströmsnätets komponenterna enligt samma övervakning och protokoll. Batterierna i Ferroamps system kan agera som backup eller för effekttoppklappning beroende på applikation. (Karlström, 2018)

Ferroamps likströmsnät består med dagens systemlösning framförallt av solel in, energilager (batterier) in och ut och balansering med växelriktning mot elnätet. Detta styrs enklare med deras likströmssystem än med motsvarande växelströmssystem. Här blir det främst likspänningsnivån i nätet som behöver kommuniceras istället för en separat systemkontroll som kräver fler mätpunkter och kommunikationer. Går spänningen upp eller ned så börjar komponenterna att arbeta. Idag är inte denna styrning lika snabb som de bästa AC-systemen, men det har utvecklats snabbt de senaste åren och fortsätter att utvecklas. Anledningen är bland annat att det inte funnits krav på snabbare styrning och balansering, detta kommer dock att förändras då fler laster ansluts till DC-nätet. (Karlström, 2018)

Ett internt system som detta kallar Ferroamp för ett Energyhub-system. När solen skiner och solcellerna producerar en spänning så trycks energi in i likströmsnätet, det leder till att spänningen i nätet höjs, när denna höjs reagerar Energyhuben och kan mata ut växelström till AC-nätet. Istället för att sensorerna ska berätta hur många kilowatt som produceras räcker det med att växelriktaren har meddelat att den kan ta emot och sedan fungerar balanseringen automatiskt. Sedan om Energyhuben känner att byggnaden inte kräver någon effekt kan den tillåta spänningen att höjas till 770-775VDC (från 760V), då reagerar batteriet på denna höjda spänning och kan börja ladda från DC-nätet. Om det vidare kopplas på fler laster så att spänningen i DC-nätet sjunker så kan man ta ut effekt från batteriet, solcellerna eller AC-nätet. På det sättet blir det ett självreglerande nät där grundtanken är att hushålla så vettigt som möjligt med energin. De kan då driva laster och till exempel elbilsladdning utefter tillgång till energi i likströmsnätet. (Karlström, 2018)

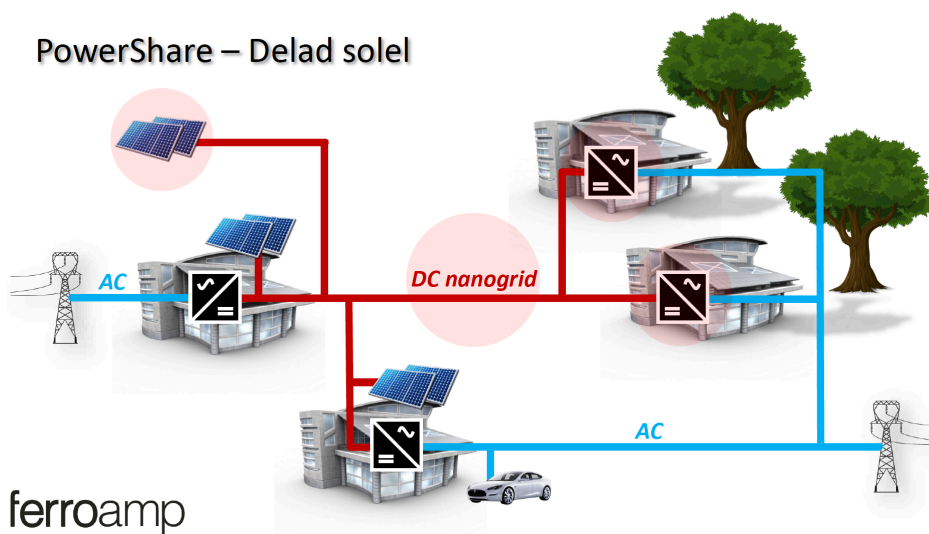
EnergyHub – DC baserat koncept



Figur 6. Ferroamps Energyhub-system (Becker, 2018)

En utveckling av likströmsnätslösningen för en byggnad är Ferroamps så kallade Powershare-lösning. Denna bygger på att man kopplar ihop flera angränsande byggnader med tillhörande solceller i ett gemensamt likströmsnät. Därmed kan den producerade solenergin användas i de byggnader som kräver effekt för tillfället. Till exempel om ett av husens solceller producerar ett överskott så kan denna energi användas i en av de andra byggnaderna som för tillfället har högre effektbehov än vad den själv producerar. I och med detta kan självkonsumtionen av all producerad solcell optimeras och mindre säljs ut till elnätet. Även under vintern när solcellproduktionen är mycket låg kan man med denna lösning skydda huvudsäkringar från höga effektuttag. Om en huvudsäkring når topp effektuttag så kan effekt tas från andra serviser och matas genom DC-nätet och därmed hålla effektuttaget genom den överbelastade servisen i fråga nere. (Karlström, 2018)

PowerShare – Delad solel



Figur 7. Ferroamps Powershare (Becker, 2018)

Ferroamps system är fullt bakåtkompatibelt och skalbart efter behov och fler produkter är under utveckling. Utöver nämnda exempel är även en Backup Device (BUD) under utveckling. Det är en produkt som man kan koppla på likströmsnätet och få ut en femledars trefasförsörjning (400VAC) till valfria AC-laster. Därmed kan man vid bortkoppling av elnätet driva till exempel fläktar, pumpar eller datorutrustning från likströmsnätet. Detta har dock inte blivit efterfrågat och beprövat ännu (september 2018). (Karlström, 2018)

4.1.3 Netpowers (Comsys) likströmsnät

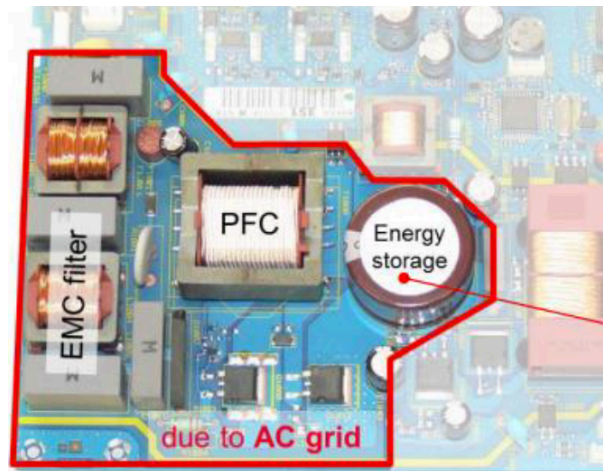
Netpower, nu en del av Comsys, grundades redan 2006 och har därmed över 10 års erfarenhet av LVDC-system vilket gör dem till ett av de första företagen i Sverige på området. De kom från telekom-branschen och började med att lansera en UPS (Uninterrupted power supply) för datahallar och har sedan även vidareutvecklat elsystem för fastigheter. De har en komplett produktportfölj för att bygga upp ett likströmsnät på 350VDC med bland annat batterier, UPS, solregulatorer för solceller, kabelsystem, kontaktdon, säkringar, distributionsenheter och övervakningssystem. (Lidström, 2018a)

När Netpower grundades 2006 var likström på tydlig uppgång, men sedan sjönk intresset innan det åter blev högaktuellt i och med LED-belysningens och solcellernas framfart samt batterilager och eldrivna fordon som alla använder likström. (Lidström, 2018a)

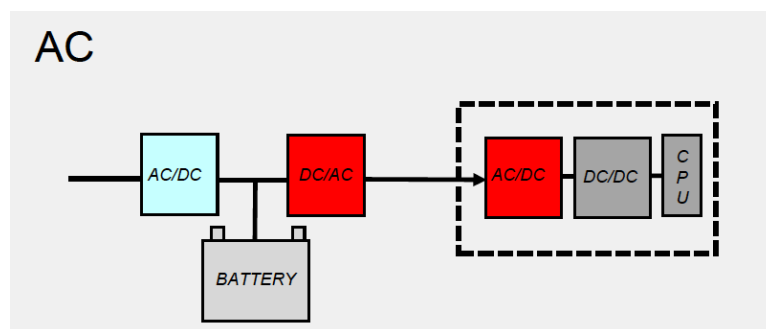
Netpowers största fokus är att effektivisera elkedjan så mycket som möjligt med hjälp av likströmssystemet. I till exempel datacenter där mycket kylning krävs kan de använda likström för att både nå grundproblemet med värmeutveckling och dessutom få en effektivare elkedja. Netpower har idag ingen lösning för att sälja överskottsel ut till nätet då man inte får så mycket betalt för såld solel. Istället ser de till att soleffekten som installeras inte överskrider förbrukningseffekten. Deras UPS-batteri är alltid fulladdat och agerar som backup vid elavbrott och agerar idag inte för till exempel effekttoppkapingar. (Lidström, 2018a)

Netpower har valt att göra deras likströmsnät så likt ett konventionellt växelströmsnät som möjligt för att kunna använda så mycket standardutrustning som möjligt och göra det enklare för elektriker. Därav kommer bland annat valet av spänningsnivån 350VDC som förklaras ytterligare under *Spänningsnivåer*. Det är också en av anledningarna till att de låtit bli att bygga ett Edison-system (+/-). De förklarar för elektriker att likströmmen kan ses som en fjärde fas vid ett konventionellt trefas-system, i övrigt blir det då samma sak. Likströmsnät kommer aldrig att kunna ersätta växelström utan det kommer alltid att vara i kombination med växelström menar Lidström. Det är inte det tekniska som är problemet utan det handlar om certifieringar. Mycket utrustning och deras aggregat är ej certifierade för likström. Om all utrustning hade behövt certifieras för både 230VAC och 380VDC hade det inte varit ett problem. Det börjar dock komma exempel på dubbelcertifierad utrustning, till exempel vissa LED-armaturer för industribruk. (Lidström, 2018a)

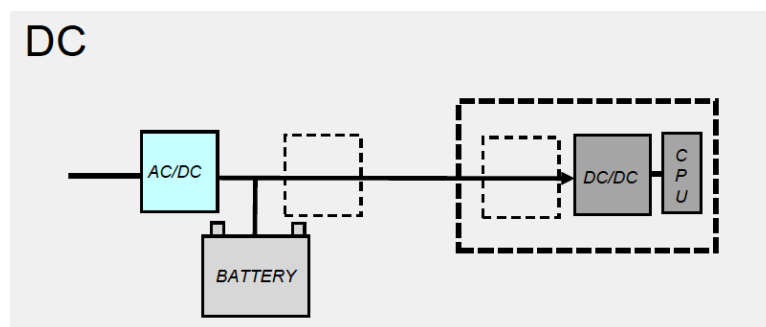
Lidström (2018a) hänvisar till Fraunhoferinstitutets forskning där de trycker på hur stor del av vikten och storleken som AC tar i ett aggregat. Enligt Lidström kan man generellt ta bort ungefär hälften av komponenterna vid DC jämfört med AC.



Figur 8. Storlek av AC-hantering i aggregat för elektronikutrustning, bild från Fraunhoferinstitutet (Lidström, 2018b)



Figur 9. Intern AC-distribution (Lidström, 2018b)



Figur 10. Intern DC-distribution (Lidström, 2018b)

4.1.4 Ochnos USB-C-lösning

Ochno är ett företag som byggt upp ett distributionssystem mot slutkonsumenten som bygger på USB-C-standarden där de kopplar in främst elektronik och belysning. Deras system kopplas in och transformeras ned från byggnadens huvudnät, förslagsvis Ferroamps 760VDC-

nät, ett annat DC-nät eller ett konventionellt AC-nät med centraliserad likriktning. Idag finns det inga produkter på marknaden som kan använda 760VDC direkt och inga standardiserade kontakter för användning, därmed är USB-C ett användbart gränssnitt för slutkonsumenten. Nya laptops (PC & Macbook), mobiler (Android & snart Iphone) och surfplattor (Android & snart Apples Ipad) med mera använder redan idag USB-C. Stationära datorer har dock ofta ett större aggregat och en inbyggd AC/DC-konverterare med transformator och kan inte direkt DC-matas. De flesta skärmar kan även använda USB-C med en enkel adapter. Detta passar bra i exempelvis kontor och skolor med mest fast belysning och IT. I bostäder är det mindre fördelaktigt då det finns fler olika produkter. Ochno levererar smarta innertak och kontorsmöbler med USB-C-kontakter, LED-drivers, sensorer för närvaro och temperatur med mera samt en smart molntjänst för styrning och automation. Med hjälp av det USB-C-standardiserade protokollet kan de få detaljerad data på energianvändning för att enkelt styra förbrukningen. USB-C tillåter även strömöverföring i båda riktningar vilket gör energilagring lätt att implementera in i systemet med till exempel vanliga batteribankar eller elektronik med internt batteri. (Ermis, 2018a)

Med en större centraliserad likriktare får man högre kvalitet och verkningsgrad på spänningen men de är också dyrare. Dock är alternativet flera små till exempel LED-drivers och dessa är också dyra men även ineffektiva. Enligt Ermis står belysningen och IT för ungefär hälften av elförbrukningen i en kontorsbyggnad med fjärrvärme. Ermis menar att man kan nå en energieffektivisering på 5-15% med deras system vad gäller belysning och IT. (Ermis, 2018a)

Enligt Ermis (2018a) behövs det tydliga affärsmässiga incitament för implementering av smart teknik och likströmsnät i byggnader. Likström är ett sätt att energieffektivisera, men även smart användning av energin är en viktig del för effektivisering. Problemet är dock att smart teknik idag är dyrt och komplext att installera. Det krävs mycket specialkompetens för till exempel dagsljuskorrigerad LED-belysning. En sådan produkt från till exempel Schneider Electric kan kosta till upp till 10000kr enligt Ermis, om denna produkt leder till en energieffektivisering på 0,5kWh/år (ca 50 öre) blir det svårt att se ett affärsmässigt incitament. Så länge den tekniken är dyr kommer endast företag välja det om de tvingas av regelverket. Där kan USB-C potentiellt ge en billigare och enklare lösning för smart teknik, då blir användningen av DC dessutom en bonus. (Ermis, 2018a) Mer om USB-C under *Kontakter & vägguttag*.

4.1.5 Nexans kommentarer

DC-system beter sig på ett annat sätt än AC-system. Med solceller med mera kommer elmatningen från flera håll vilket normalt sett inte sker i AC-nät. Detta kräver mer smarta konstruktioner som vet var strömmen kommer ifrån och kan styra systemet. Adolfsson menar också att det kan dröja för DC att sprida sig och bli vanligare än AC, men att det möjligen kan öka fortare i nybyggnationer. (Adolfsson, 2018)

4.2 Standarder

IEC¹ och IEEE² är de huvudsakliga aktörerna som skapar standarder för denna marknad. I dessa kommittéer sitter valda företagsrepresentanter ibland på eget bevåg eller om företagen har råd att arbeta med dessa standardiseringsprogram. Från Sverige finns det några representanter från Ericsson, från Tyskland är Fraunhoferinstitutet drivande och även i Holland finns flera aktörer inom DC-utvecklingen. (Karlström, 2018)

I den här sortens teknikutveckling förflyttar man sig ofta i sidled från befintlig teknik. Till exempel svenska Comsys Netpower kom från telekombranschen och hamnade då på 350VDC då deras teknik byggde på detta. 350VDC utgår från en bidirektionell enfas-växelriktare. (Karlström, 2018)

Ferroamps teknik (+/-380VDC) bygger på en trefas-växelriktare. Detta är ingen generell standard för likströmsnät, men det är den teknik som Ferroamp har byggt upp sitt system på. De har gjort det valet för att de tror på den lösningen, därefter måste konkurrenters system försvara sig mot denna teknik medan Ferroamp kan fortsätta utveckla lösningar inom sitt. (Karlström, 2018)

I Holland har de kommit fram till en nationell standard för likspänningsnät som sorterar under IEC, en liknande nationell standard skulle Sverige kunna ta fram innan det finns en generell IEC-standard. (Karlström, 2018) Harry Stokman i Holland är en tydlig aktör i branschen som arbetar för en internationell systemstandard på IEC-nivå. (Adolfsson, 2018)

I USA finns en standard som heter UL³ som gäller för spänningar upp till 600V. För spänningsnivåer över detta finns installationsregler som kräver särskild utbildning. Att välja spänningsnivåer över 600V kan alltså bli ett hinder för att hitta en internationell standard. (Lidström, 2018a)

ETSI-standarden⁴ är en telekomstandard för att driva servrar, routrar och telefonutrusning med mera på spänningsnivåer mellan 260-400VDC. Det är en europeisk standard som används över hela världen och som Netpower var delaktiga i under dess utveckling och lansering 2011. Den innehåller två standarder, en som handlar om spänningsnivåer och en som handlar om jordning och skydd. Lidström anser att när det har kommit en standard efter många år av diskussion så bör man försöka hålla sig till den. Vid försök att använda spänningar utanför denna standard fördröjs utvecklingen av likströmssystem ytterligare. (Lidström, 2018a)

Ermis (2018b) från Ochno trycker på värdet av standardisering för att få sänkta kostnader och större implementeringsbarhet. Som exempel nämns ”powerbanks” (mindre laddbara

¹ <https://www.iec.ch/> (2018-12-10)

² <https://www.ieee.org/> (2018-12-10)

³ https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_1310_7 (2018-12-10)

⁴ https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300100_300199/3001320301/02.01.01_40/en_3001320301v020101o.pdf (Hämtad 2018-12-10)

batteripack med USB), dessa finns till mycket konkurrenskraftiga priser jämfört med större batterilösningar, upp till hälften av priset per kWh enligt Ermis. De är dessutom färdiga att använda utefter USB-standarden och blir därför en mycket implementerbar lösning redan idag.

4.3 Spänningsnivåer

Att välja en högre spänningsnivå leder till lägre kabelförluster för en konstant effekt och ledningsarea enligt Ohms lag. Därmed kan man använda kablar med mindre tvärsnittsarea och då spara på resurser och kostnader vid val av högre spänning. Vid jämförelse av till exempel 380VDC och 48VDC kan man vid samma effekt använda 64 gånger mindre koppar/aluminium i kablarna vid 380VDC. Spänningsnivån måste dock begränsas av regelverk och standarders intervall. (Lidström, 2018a)

$$\begin{aligned}P &= U * I \\P_{Förluster} &= R * I^2 \\ \frac{380}{48} &\approx 8 \\ P_{Förluster} &= R * 8^2 \\ P_{Förluster} &= R * 64\end{aligned}$$

Tvåfasiga likströmssystem likt Ferroamps med en plus och en minus-fas samt en neutral i mitten kallas för Edison-system. (Lidström, 2018a) I Ferroamps system har de utgått från en trefasomvandlare (400VAC) för att klara alla spänningstoleranser som man har på växelströmssidan. De har då ett tvåfas +/-380VDC system där de har tagit höjd för trefasens maximala peakvärde med tolerans och därmed kunna mata ut till en trefasanslutning. För att skapa den positiva delen av AC-kurvan drar de energi från den positiva +380VDC och motsvarande -380VDC för den negativa delen. Mellan plus och minusfasen är det 760VDC, denna spänning används för att transportera elenergin, tack vare den högre spänningen kan strömmen sänkas och därmed kabeldimensioner minimeras. Idag kan de inte driva 380VDC-laster på en fas, tex plus till neutral (380VDC), då det påverkar växelriktarens stabilitet. Vid drift av sådana laster, eller laster i andra spänningsintervall, får de DC/DC-transformera till den önskade spänningen från 760VDC. Det är viktigt att de har balans mellan de två faserna när de skapar trefas-ström, idag är det automatiskt balanserat men i framtiden kan de behöva styra växelriktarens stabilitet om det ska gå att använda ena (380VDC) fasen direkt. (Karlström, 2018)

Karlström (2018) berättar att han tror, bland annat efter vad han hört från Bernd Wunder från Fraunhoferinstitutet (Tyskland) som är framstående inom området, att standardspänningen för likströmsnät i byggnader kommer hamna på antingen 350VDC, 380VDC, +/-350VDC (700V) eller +/-380VDC (760V). Ferroamp har möjlighet att justera spänningen i sitt system om standarden blir +/-350VDC istället för deras valda +/-380VDC, det är endast en fråga om programvara.

Netpowers val av spänningsnivå på 350VDC kommer utifrån vad dagens produkter är dimensionerade att klara av. I England använder man 240VAC i vägguttagen (230VAC i Sverige) och då ska produkter vara dimensionerade till att klara +/-10% av detta. Det leder till en maxspänning på 264VAC RMS. Tar man sedan peak-värdet av detta så får man värdet av en likriktning av densamma, då hamnar man på 373VDC vilket produkter som laddare, notebooks och aggregat ska vara dimensionerade för. Det betyder att med 350VDC som ligger under detta värde kan man använda all denna befintliga utrustningen. 350VDC ligger även inom ETSI-standarden (260-400VDC), UL-standarden (<600VDC) och under 400V som i vissa länder är en gräns för vad som anses som farlig spänning. (Lidström, 2018a)

$$240 * 1,10 = 264V (RMS)$$

$$264 * \sqrt{2} = 373V (peak)$$

Flera företag har ändå valt att använda andra spänningsnivåer. I Kina till exempel så finns 240DC efter att man lyckats få de kinesiska myndigheterna att certifiera användandet av detta med argumentet att det samma spänning som 240VAC men med frekvensen noll. Då har man kunnat använda standardaggregat, men detta kan man även göra med 350VDC då komponenterna ska klara upp till 373V. (Lidström, 2018a)

Vill man kunna använda standardutrustning eller industriutrustning som är dimensionerade till 373V använder Netpower 350VDC. Men om de har servrar som går på 380VDC från till exempel HP eller Dell så använder de 380VDC i deras likströmsnät. Det handlar bara om hur många block de använder i sina batterier och eftersom det också är inom ETSI-standarden 260-400VDC blir det ingen större skillnad för dem. (Lidström, 2018a)

350VDC är vanligt vid en enfasomvandlare. 380VDC är sedan en utveckling av enfasomvandlare som tagit höjd för 277VAC som är en enfas i det amerikanska trefas-systemet 277/480VAC. (Karlström, 2018)

I en USB-C beställer den inkopplade utrustningen en spänning mellan 5-20VDC för slutanvändning i till exempel laptops, mobiler eller skärmar. När ingenting är inkopplat finns ingen spänning i uttaget. (Ermis, 2018a)

4.4 Brytare

Vid normaldrift bryter man inte likström under last. Det man gör är att stänga av produktionen precis som med en frekvensmotor. Man bryter inte strömmen utan tonar ned effekten och stannar i det fallet motorn innan man öppnar reläer för att bryta kretsen. Systemet säger då i alla fall i Ferroamps fall till alla komponenter i DC-nätet att stänga av vilket gör att man kan bryta en DC-brytare utan problem. (Karlström, 2018)

Vid behov av en nödbrytare finns det vakuumbrytare att koppla in i nätet. När denna slår av uppstår ingen ljusbåge, även under last. (Karlström, 2018)

Lidström (2018a) från Netpower menar att det ofta finns en missuppfattning kring risker med ljusbågar och likström. I slutet av 1800-talet och början av 1900-talet hade man stora problem med likström och ljusbågar på grund av att lasterna som till exempel hissmotorer med mera var induktiva. Idag är dock enligt Lidström 80-90% kapacitiva elektroniska laster med kondensatorer i nätaggregaten. Detta innebär att när du bryter en anslutning så håller kondensatorerna uppe spänningen och man får ingen ljusbåge. När du dock ansluter en kontakt och dessa kondensatorer ska laddas upp så får man en liten ljusbåge, men det är samma problem med växelström. Om du dock har långa kablar eller solceller med långa kablar genom alla celler så är dessa induktiva. Så om solcellerna håller på att ladda ett batteri och man bryter strömmen uppstår en ljusbåge, dock inte vid nätaggregatet. Ljusbågar inom både AC och DC är en risk som ska tas på stort allvar.

4.5 Säkringar

Vanliga porlinsssäkringar utvecklades en gång i tiden för likström. Netpower har gjort omfattande tester av dessa för att garantera att dessa fungerar som önskat. Resultatet av undersökningarna har varit att de befintliga säkringarna fungerar som de ska och bryter fint med DC. (Lidström, 2018b) (Elforsk, 1999, p. 13)

All högspänd elektricitet, växelström eller likström är farlig, men man använder säkringar på samma sätt, och i fallet att någon exempelvis skulle borra i en DC-kabel skulle dessa lösas ut på samma sätt och bryta kretsen. Vid jämförelse med ett 48V system, som används inom till exempel telekom, där man är direkt kopplad på batterier, bus:ar och laster och inte använder säkringar uppstår ljusbågar vid samma situation. Detta problem kan kringgås i och med aktiv elektronik som drar ned laster samt styr och reglerar energiflöden. Komponenter ska då inte kopplas på DC-nät hursomhelst utan man måste förhålla sig till denna lösning med kommunikativ aktiv elektronik. (Karlström, 2018)

4.6 Kablar

Som nämnt under *Spänningsnivåer* leder högre spänning till minde kabeldimensioner vilket leder till minskad materialkostnad och materialanvändning. (Lidström, 2018a)

Kabelföretaget Nexans kan ta fram kablar efter behov vid en likströmsinstallation men idag finns inte några satta standarder för detta. Det är hur man bygger upp systemet som avgör skillnaden mellan en DC- och en AC-kabel. Installationer som gjorts i Sverige har hittills använt sig av befintlig AC-kabel. Idag är det ännu små volymer och att ta fram en standard tar tid och investeringar. Frågor som skulle kräva svar vid utveckling av en standardkabel skulle vara spänningsnivå, vilken färg ledarna skulle ha, hur man ska skilja på en AC- och DC-kabel (Annan mantelfärg till exempel) och om detektering eller fler funktioner ska sitta i kabeln eller genom en smart funktion i brytare. Detta får det inte finnas några oklarheter kring för installatörerna. (Adolfsson, 2018)

Draka (världens största kabeltillverkare) i Sverige har inte har varit delaktiga i något likströmsnätprojekt eller har några kommersiella produkter ännu, Detta har dock diskuterats i

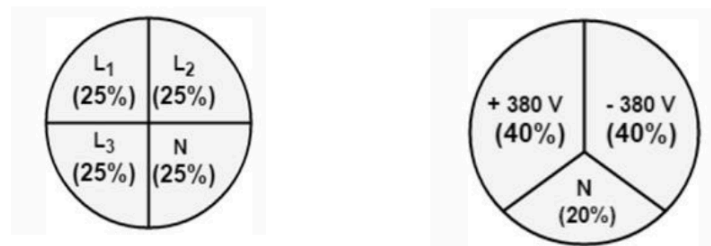
Svenska branschforum, till exempel Selcable. Draka skulle kunna ta fram kablar efter behov men har inte fått några förfrågningar ännu och därmed inte tittat närmare på saken. Det har inom koncernen från Milano skickats ut förfrågningar kring standarder och regler på området under våren 2018. I Sverige har dock inga längre diskussioner förts. I oktober 2018 är dock nästa möte med Selcable och då ska frågan tas upp ytterligare. (Berglund, 2018)

Draka är ett internationellt företag där bland annat Sverige, Finland och Holland ligger i samma region och har olika specialiserade fabriker beroende på kabeltyper. Skulle det finnas en färdig produkt i Holland så skulle det därmed inte finnas några juridiska eller standardmässiga hinder för att denna skulle kunna fraktas till och appliceras i Sverige. (Berglund, 2018)

Ferroamp använder vanliga befintliga AC-kablar i sina likströminstallationer, inga speciella DC-kablar behöver användas vid en DC-installation. I deras fall med ett 760VDC-system är enda kravet att de ska ha isolering som är dimensionerad för upp till 1kV vilket nästan alla mark-kablar och kablar för trefas-system är. (Karlström, 2018)

Om man håller sig under 400VDC så fungerar vanliga svenska installationskablar för AC. Sedan är det en fråga om vilken jordning som ska användas. Netpower använder TNS-jordning som är samma typ som vid växelströmsinstallationer. Jordningen är en tråd, motsvarande nollan för AC blir minus och fasen blir plus, därmed blir det så likt konventionella AC-system som möjligt och befintliga kablar kan användas. (Lidström, 2018a)

Torbjörn Thiringer (2018) på Chalmers Tekniska Högskola har varit med och räknat på en teoretisk likströmskabel för +/-380VDC. Där kom de fram till en minskad resistans på 60% med +/-380VDC kontra trefas-systemets AC-ström vid samma ledningsarea och effekt.



Figur 11. Teoretisk fördelning av ledningsarea med trefas-systemets AC och +/-380VDC från Chalmers (Thiringer, 2018)

Ochno med sin USB-C-HUB kopplas mot ett nät med högre spänning. När de transformerar ned spänningen till sitt lägre nät finns en begränsning på 10m kablar för 24VDC på grund av spänningsfall. Därmed krävs separata HUBar i varje rum/del av rum. En fördel med kablarna som används för USB-C är att de har strömförsörjning åt båda hållen samt kommunikation i samma kabel. (Ermis, 2018a)

4.7 Belysning

För att garantera bra drift och livslängd på LED-belysning krävs att man använder drivdon som är avsedda för DC och innehåller skydd mot överspänning, överström, överlast och kortslutning. Detta innebär system för SELV (Safety extra low voltage), kortslutningsskydd samt skydd mot övertemperatur och överlast. (Bruer, 2018)

Det finns två typer av dioder och drivdon. Den ena är konstantspänning, den har en inbyggd strömreducering och drivs internt med till exempel 10, 12 eller 24VDC. Exempel på dessa är LED-stripar, ljuskedjor och LED för dekorativa ändamål. Vid denna typ parallellkopplas dioderna och dimensioneringen styrs av den totala effekten. Den andra är konstantström utan inbyggd strömreducering, dessa drivs normalt med till exempel 350mA eller 700mA. I dessa gäller seriekoppling och dimensionering styrs av den totala sekundärspänningen/effekten. Denna typ används i armaturer för allmänljus i kontorsbyggnader med korridorer och arbetsplatser. (Bruer, 2018)

LED-belysning är enkel att ljusreglera 0-100% utan flimmer vid användning av rätt teknik och kvalitet på drivdonet. Vid LED sitter ofta dimmern som en integrerad del av drivdonet. Med rätt teknik leder ljusregleringen till energibesparingar och förlängd livslängd. Rekommenderad teknik för dimbara LED-drivdon är pulsviddsmodulation (PWM) och strömreduktion/amplitudmodulering (AM). PWM innebär att man bryter strömmen till dioden med en frekvens som ej bör understiga 300Hz för att undvika flimmer. AM innebär att man sänker strömmen till dioden vilket minskar risken för flimmer. Normalt ändras inte ljusstemperaturen av dessa regleringar och de kan styras med de flesta standardsystemen som fas-dimring, fas-impuls, DALI, DSI och DMX med mera. (Bruer, 2018)

Idag finns inga tekniska problem med likströmsmatad belysning men tillverkare måste certifiera utrustningen för likström. Netpower har bland annat utvecklat armaturer tillsammans med svenska Fagerhult samt ett eget LED-belysningssystem som matas med likström. (Lidström, 2018a) Netpowers belysningslösning NetLight drivs på 380VDC. (Netpower, 2018)

I projektet A Working Lab med Akademiska hus installerades LED-armaturer med DC-drift från belysningsföretaget Glamox. (Hansson, 2018)

Belysningsföretaget Fagerhult har erfarenhet av några mindre och kundspecifika lösningar för likströmsmatad belysning men har idag inga kommersiella produkter primärt byggda för detta. Dessa projekt har främst varit för användning av 350VDC. Fagerhult utvecklar inte sina egna drivdon utan samarbetar med bland annat Philips, Osram, Tridonic och Helvar. I dessa projekt har de då fått drivdonsleverantörerna att justera sin elektronik till 350VDC. På lång sikt kan denna unika lösning bli problematisk i fall något går sönder och det inte är standardiserade drivdon som använts. Därav har Fagerhult valt att nu inte erbjuda armaturer för denna spänningsnivå förrän deras leverantörer har tagit fram kommersialiserade produkter för detta. (Järpehult, 2018)

Energimyndighetens tidigare huvudkontor i Eskilstuna hade ett 350VDC likströmsnät med bland annat DC-belysning. Helvar levererade där den tekniska lösningen med DC-drivdon åt Fagerhult som sedan levererade armaturerna. De modifierade befintliga produkter, testade och fick dem certifierade enligt ENEC (European Norms Electrical Certification) som är den huvudsakliga certifieringen i belysningsbranschen i bland annat Sverige. Det var en teknisk framgång men projektet har inte kommersialiserats då förfrågningarna ännu har varit för små. (Björkgren, 2018)

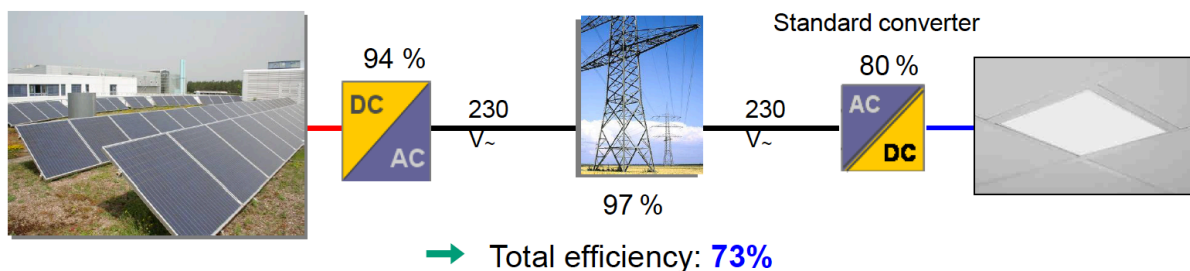
Det finns drivdon på marknaden som klarar upp till 400VDC. Dock är det inte säkert att dessa passar i Fagerhults befintliga armaturer utan att modifieringar krävs. De har fått förfrågningar om denna lösning men har nu intagit en avvaktande inställning då de inte är trygga med dessa leverantörer. De måste först kunna vara säkra på att det finns support, ersättningsprodukter, garantier och leveransförmåga i många år framåt. Det är först om efterfrågan ökar som detta blir aktuellt för Fagerhult. (Järpehult, 2018)

Philips lighting har idag inga kommersialiserade belysningsprodukter som är huvudsakligen byggda för DC-drift. Det är först om marknaden för DC växer som det blir aktuellt för dem att utveckla kommersiella produkter för detta, även om det inte är ett tekniskt problem. Det är dock inte belysningsaktörerna som styr denna utveckling utan mer fastighetsägarna som måste driva på. (Modigh, 2018)

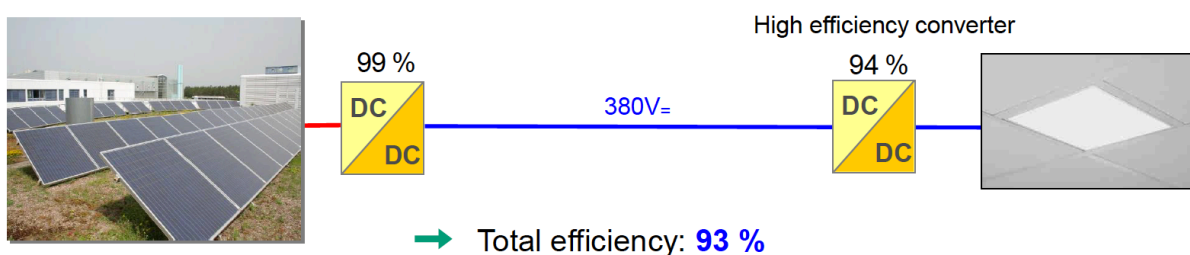
Fagerhult (Järpehult, 2018), Helvar (Björkgren, 2018) och Philips Lighting (Modigh, 2018) har alla produkter som är kompatibla att användas med likström mellan ca 200-250VDC för nödbelysning. Ibland används centrala batterier som kan mata ut likström till valda armaturer när växelspanningen försvinner från nätet. Det är då inte nödvändigtvis negativt för produkten utan man får ungefär samma prestanda. (Modigh, 2018) Ingen av tidigare nämnda har dock kommersialiserade produkter för spänningsintervall utanför detta.

Fagerhults armaturer i nämnda nödljussituation reagerar på att de matas med DC och därmed ger ut en mindre effekt för att spara på batteriets effekt. Detta kan dock justeras med en enkel omprogrammering för att få ut full effekt. Detta är då möjligt med befintliga produkter idag. (Järpehult, 2018)

Enligt Netpowers beräkningar kan de driva deras DC-belysning med direkt likström från solceller med en verkningsgrad på 93%. Detta kan jämföras med samma upplägg där man istället överför strömmen som växelström via elnätet, då nås en verkningsgrad på 73%. Den direkta likströmsmatningen leder då till en energieffektivisering på 20%-enheter eller 27%. (Lidström, 2018a)



Figur 12. Effektivitet för AC-transmission via elnätet (Lidström, 2018b)



Figur 13. Effektivitet för direkt DC-drift av belysning (Lidström, 2018b)

Näslund (2018) på Vasakronan uttrycker ett problem med kommunikation och styrning av belysning. Idag är Dali det stora systemet som sedan kan styras smart med hjälp av KNX (smart styrsystem). Dessa är dock avancerade system som kräver dyr utrustning. Där hoppas de att kunna förenkla detta med hjälp av Ochnos USB-C-lösning med kommunikation och styrning enligt UBS-C-protokollet. Detta i och med det tidigare nämnda pilotprojektet på Vasakronans huvudkontor.

4.8 Kontakter & vägguttag

Det finns idag ca 11 olika kontaktdon i världen för AC-spänning. Samma problematik har funnits kring laddkontakt-standarder för elbilar med många olika standarder, även om tydligare standarder växt fram kring detta. Det har pågått ett internationellt IEC-arbete för att ta fram ett likströmskontaktdon för generella byggnadsapplikationer. Det har dock funnits en konflikt i hur många gånger kontakten ska gå att koppla i och ur. Det togs fram en kontakt som klarade av 1000 in och utdragningar, men då krävde det största bolaget i denna tekniksektor, franska Schneider electric, att den skulle klara 10000 in och utdragningar. Detta ledde till att utvecklingen av kontaktdonet gick i stöpet. Detta blev en politisk fråga där Schneider electric, som en av världens största AC UPS-leverantörer, motarbetade standardiseringen av ett likströmskontaktdon, möjligtvis på grund av egna affärsmässiga intressen. (Lidström, 2018a)

I installationer utanför rack använder Netpower ofta en CEE-plug som är certifierad för likström och skyddad mot bland annat ljusbågar. Den används även över hela världen för växelström. I den finns en nyckling som hindrar en från att kunna stoppa in fel spänning, lik- eller växelström. Problematiken har varit att ingen tillverkar dessa, därav producerar de dessa

själva. Denna standarden som även täcker in likström heter IEC-60309. (Lidström, 2018a) Högsta tillåtna spänningen och strömstyrkan för standarden är 690VDC och 250A. (Wikipedia, 2018b)



Figur 14. CEE-plug, IEC-60309, bild från Netpower (Netpower, 2018)

Det finns en svensk draft-standard för ett likströmskontaktidon. Denna ser ut som en vanlig svensk AC-kontakt med skillnaden att den ena pinnen har ett jack likt en halvmåne, detta gör att den endast kan kopplas in på ett sätt. Detta kontaktidon har en maxeffekt på 1000W med 400V och 2,5A. I bland annat ett projekt med Energimyndighetens tidigare huvudkontor i Eskilstuna installerades denna typ för laddning av bärbara datorer/laptops. Vid detta exempel har man kvar AC/DC-konverteraren på laddarsladden (primärswitchad SMPS). Det första steget i denna är en likriktare med dioder, sedan en effektfaktorkorrigering (PFC) för en renare ström och till slut en DC/DC-konverterare för att sänka spänningen. På detta sätt tar sig likströmmen igenom laddaren. På grund av att PFC-delen inte behöver arbeta på samma sätt sker till och med en liten energieffektivisering på 3-4%. Dessa AC/DC-laddare har dock en låg verkningsgrad på runt 70%, men om denna skulle bytas ut mot en ren DC/DC-laddare skulle man kunna nå 98% verkningsgrad. Likström ska kunna användas till nästan alla dagens switchade aggregat, men vissa servrar och routrar har de haft problem med. Detta har berott på en intelligent krets vid ingången på nätaggregaten som analyserar den inkommande strömmen och spänningen och hindrar denna om den inte känns igen. I vissa fall har de dock lyckats programmera sig förbi detta och enligt Lidström fungerar det rakt av i 98% av fallen. I små laddare som saknar intelligens är det inget problem. (Lidström, 2018a)



Figur 15. Svensk draft-standard, 400V 2,5A, foto från Netpower (Lidström, 2018a)

I installationer inuti ett rack där man ansluter till exempel en server eller en router använder Netpower kontakten Saf-d-grid. Det är en amerikansk kontakt som har blivit en inofficiell internationell standard och som är dimensionerad för upp till 600V DC och AC och strömmar på upp till 30A. Om man ska kunna bryta under last används upp till 400VDC. Denna använder Netpower ofta för servrar idag då nätaggregaten har blivit större och kräver högre effekter på exempelvis 2-3kW jämfört med den svenska draft-standardens begränsning på 1kW. (Lidström, 2018a)



Figur 16. Saf-D-Grid (Lidström, 2018b)

Idag använder alla nya laptops, androidtelefoner, Mac-datorer med mera USB-C och i framtiden kommer även fler Apple-produkter och produkter med runda DC-pluggar att göra det. Det finns även idag enkla adaptrar mellan USB-C och runda DC-pluggar för bland annat

skärmar. (Ermis, 2018b) Stationära datorer har oftast större aggregat än laptops och kräver en högre spänning och effekt. Dock fasas stationära datorer ut mer och mer ur kontorsmiljöer. (Ermis, 2018a)

USB-C har en begränsning på upp till 5A och arbetar på spänningar mellan 5-20VDC utefter vad den inkopplade utrustningen beställer. Detta ger en begränsning på 100W energitillförsel. Med vissa modifikationer av spänningen är det möjligt att få 130-140W men detta är utanför standardprotokollet. Mycket teknik kan använda sig av detta effektintervall, till exempel skärmar. Äldre LCD och plasma-skärmar drog mycket effekt, men med dagens OLED med mera är effekten betydligt lägre. Även skärmar på 30"-40" drar signifikant under 100W, en vanlig 27" datorskärm drar exempelvis ca 25W. USB-C har även möjligheten till strömöverföring åt båda håll vilket förenklar implementering av energilagring i systemet. (Ermis, 2018a)



Figur 17. USB-C, bild från Ochno (Ermis, 2018b)

Lidström (2018a) kommenterar att USB-C är bra för att minska antalet laddare i ett hem eller kontor. Han ser dock en problematik med effektbegränsningen på 100W. Netpowers stora LED-armaturer ligger på 80-120W, så även om effektbegränsningen går att öka till 130-140W så ligger det på gränsen redan nu. Lidström tror mer på att det används för att standardisera laddarna med USB-uttagen i väggen för att slippa den låga verkningsgraden hos dagens laddare på 70%. Enligt Lidström ska det gå att nå 93-94% verkningsgrad, problemet är bara kostnadseffektiviteten, folk är inte beredda att betala 300kr extra för något som är lite bättre.

4.9 Fläktar

Ferroamp har nyligen (september 2018) fått en beställning på 100kW fläktar kopplat till deras likströmsnät. Detta är främst ett forsknings och utvecklings-projekt, men de har fått klartecken från fläktföretaget EBM papst att deras fläktar ska gå att koppla in till likströmsmatning på 230VDC, detta kräver dock en DC/DC-omvandling som leder till vissa förluster. Detta är generellt tekniskt genomförbart men kan potentiellt påverka frågor vad gäller bland annat garantier. Detta skulle dock möjliggöra ett DC-backupsystem för fläktsystemet. (Karlström, 2018)

Netpower har tagit fram en fläktlösning med företaget Swegon. Detta i ett projekt på ett lager i Vallentuna utanför Stockholm. I byggnaden finns även DC-belysning, solceller och ett batterilager. Motorn i fläkten går att köra på likström men de hade även en mindre DC/DC-omvandlare för att driva styr- och övervakningssystemet på 24VDC. (Lidström, 2018a)

I RISEs forskningsprojekt Forskningsvillan har man installerat ett FTX-aggregat från Systemair som matas med likström från deras DC-nät från Ferroamp. (Ollas, 2018)

I Akademiska hus projekt A Working Lab levererades DC-drivna fläktar från företaget Voltair. (Hansson, 2018)

Ermis (2018a) menar att det bör vara enklare att få svenska mindre leverantörer av fläktar att leverera likströmsmatade fläktar än större leverantörer som Panasonic eller Electrolux. Detta för att de större arbetar efter en annan marknadynamik för större efterfrågan. Beställningar av fläktar till större byggnader brukar vara större enskilda affärer som passar in på de mindre leverantörernas marknadsnisch. Majoriteten av dagens fläktar använder EC-motorer som fördelaktigt kan använda sig av likström.

Likströmsmatade fläktar är inte väl utvecklat ännu. Det krävs tydliga standarder där man enas om en spänningsnivå med mera samt en större efterfrågan för att den utvecklingen ska ta fart. Andersson nämner dock att Det finns mindre fläktar som används inom telekom på 48VDC eller 24VDC men att dessa oftast är för små för större utbredning. En idé Andersson på Fläktföretaget IV Produkter får är om mindre fläktar skulle kunna användas i lägenheter med en fläkt per lägenhet. En fläkt av storleksordningen 50-100W bör gå att finna i befintligt sortiment. (Andersson, 2018)

4.10 Pumpar och värmepumpar

De flesta pumpar och värmepumpar har idag varvtalsstyrda DC-motorer. De använder en inverter som varierar spänningen för att kunna styra varvtalet på kompressorn. Men för att likströmsmata dessa behöver man förbigå första AC-ledet i värmepumpen och mata till invertern direkt. Netpower har testat värmepumpvarvtalsstyrningar från ABB på likström. Det har varit enfas-motorstyrningar upp till 2kW och det har fungerat problemfritt. Detta gjordes i ett projekt för Glava i Värmland. (Lidström, 2018a)

I RISEs projekt Forskningsvillan finns en värmepump från NIBE installerad som matas med Likström. (Ollas, 2018)

I RISE projekt i Åsaliden drivs husets flesta cirkulationspumpar med likströmsmatning. (Qvarnström, 2018)

4.11 Kylning

Alla datacenter och kontor i Sverige har kylsystem, men det är ännu inte mycket som gjorts där på likströmssidan. Netpower har varit i kontakt med Swegon om deras aktiva kylsystem,

men detta är nästa steg i likströmsutvecklingen tillsammans med värmepumpar. (Lidström, 2018a)

I Ferroamps projekt med Vasakronans kontor i Science park i Uppsala hade en av byggnaderna ett stort kylsystem. Där kopplade de in kylsystemet (AC) via en växelriktare för att kunna använda överproducerad solex till denna istället för att sälja ut till nätet. Så länge kylsystemen inte också kan matas direkt med likström som standard är de tvungna att växla om till växelström. De ser gärna att det i framtiden kommer en tydlig internationell IEC-standard för likströmsnät med förslagsvis en AC-ingång med en likriktarbrygga och en DC-ingång som förbigår likriktarbryggan och kondensatorerna och därmed förbigår spänningsfallet däröver. (Karlström, 2018)

4.12 Servrar

Servrar kör idag fördelaktigt på likström. Vid användning av likström i datacenter gör man både energieffektiviseringar på grund av färre omvandlingar, men även i och med ett minskat kylbehov på grund av de färre omvandlingarna, båda dessa leder till energivinster. Det finns servrar från till exempel HP och Dell som kan använda 380VDC. (Lidström, 2018a)

4.13 Apparater

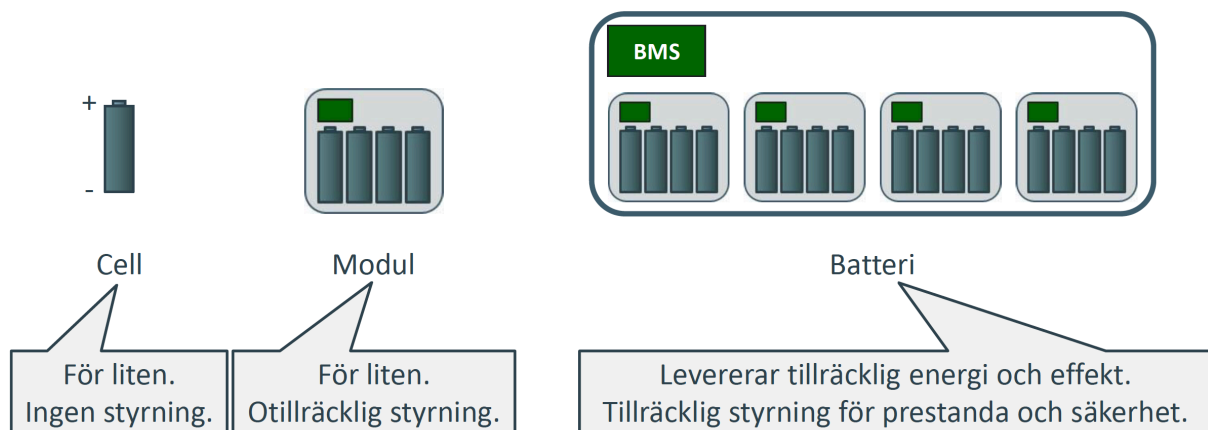
I kök eller pentryn i kontorsbyggnader är det idag svårare att hitta apparater som kan använda DC. Kaffeapparater, traditionella spisar/ugnar, diskmaskiner med mera med värmeelement, mikrovågsugnar och kyl/frys (Utom mindre kyl/frys på 12/24VDC för tex husvagnar eller båtar (Elkatalogen, 2018)) kan idag inte matas med likström. (Näslund, 2018) (Ermis, 2018a)

Många kontorsapparater, telefoni och elektronik använder sig idag av likström på lägre spänningar, till exempel 48VDC för telefoni. (Lidström, 2018a) Det finns även adaptrar mellan USB-C och runda DC-pluggar, men dessa begränsas naturligt av maxspänningen på ca 20V i USB-C. (Ermis, 2018a) Större kontorsmaskiner som kopieringsmaskiner kan dock inte matas med DC. (Näslund, 2018) Även större OLED-skärmar kan drivas med USB-C på grund av sin låga effektanvändning, dessa kan då användas i till exempel konferensrum. (Ermis, 2018a)

Electrolux Laundry Systems har idag inte några produkter för likströmsmatning. De tillverkar mest professionella produkter för drift med trefas-matning (400VAC), ej hushållsprodukter. I deras varvstyrda motorer finns det ett DC-led med en inverter och 12VDC finns för alla styrsignaler, där finns det alltså en teknisk möjlighet för DC-matning. I värmeelement ser de det dock som en teknisk omöjlighet med DC-matning utefter dagens kunskaper. Det är inte produkttillverkarna som kommer att leda denna utveckling utan anpassa sig till den. Skulle kunder ställa krav på likströmsmatade produkter bör detta dock inte vara en lång utvecklingsprocess för dem. (Johansson, 2018)

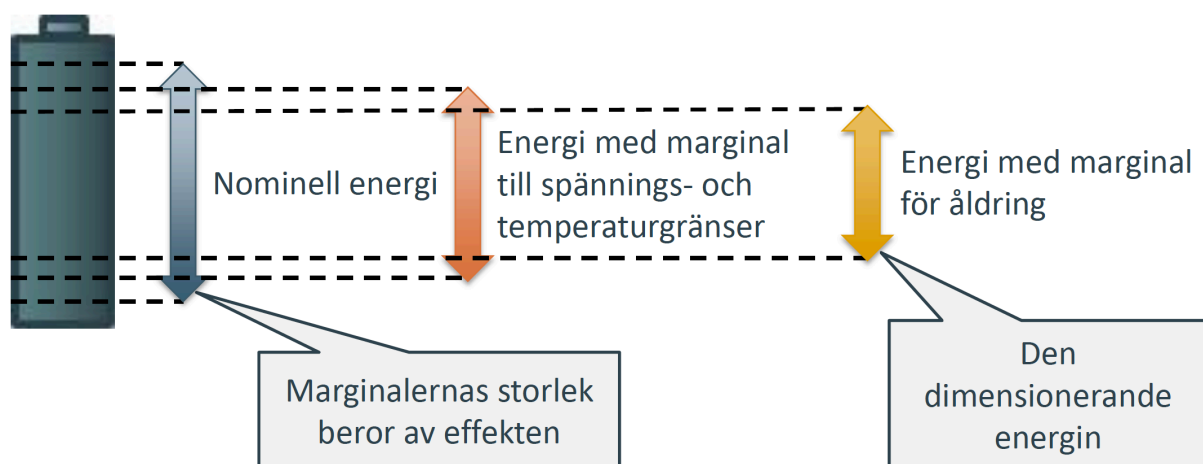
4.14 Batterier

Micropower Lionovas batterier består av standardiserade cylinderformade 18650-celler utan styrning. Dessa battericeller likt andra kopplas ihop i moduler med mindre styrning, slutligen sammanställs dessa i ett komplett batteri med ett batterihanteringssystem (BMS) för leverans av tillräcklig styrning av energi, effekt och säkerhet. Med denna uppbyggnad kan batterierna skalas efter behov av energi, spänningsnivå och effekt. Alla batterier bygger på likström. (Tomsic, 2018)



Figur 18. Batterihierarki, bild från Micropower Lionova (Tomsic, 2018)

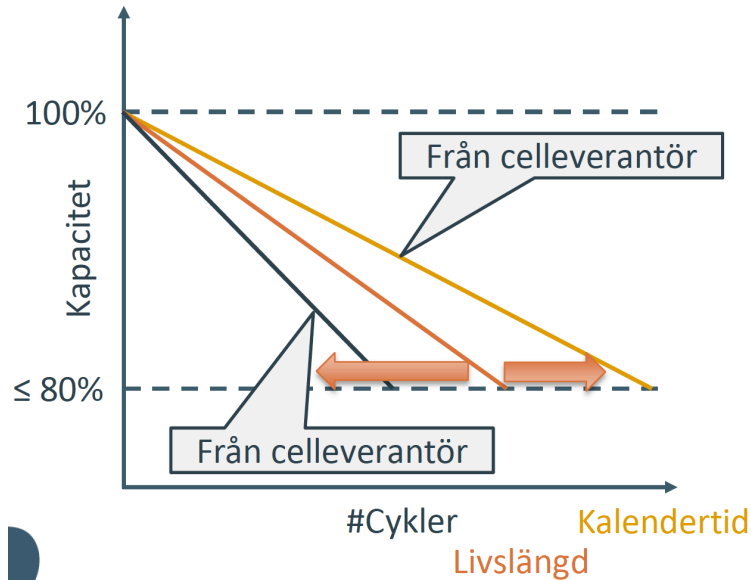
Den användbara energin i ett batteri beror på flera parametrar. Den nominella energin är batteriets totala energiinnehåll innan förluster. Sedan begränsas energimängden först av spännings- och temperaturgränser som beror av effekten. Till sist krävs marginaler för batteriets åldring vilket leder till den dimensionerade energin som används för applikation. (Tomsic, 2018)



Figur 19. Användbar energi i ett batteri, bild från Micropower Lionova (Tomsic, 2018)

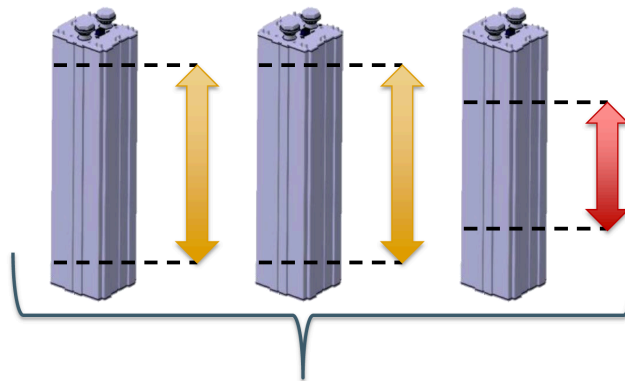
Batteriets livslängd beror på användningsområde och går inte att ge ett generellt svar på. Celldata ger ett medelvärde men cykelåldring och kalenderåldring påverkar batteriets verkliga livslängd. Cykelåldring innebär hur batteriet används i form av i och urladdningar vilket påverkas av användningsområdet, till exempel batteribackup eller effekttoppkapning.

Kalenderåldring beror på batteriets faktiska ålder, även tiden som passerar påverkar batteriets kapacitet. Kombinationen av dessa ger batteriets faktiska livslängd. Celldatan är en utgångspunkt men dessa perspektiv måste tas in i beräkningarna vid dimensionering. (Tomsic, 2018)



Figur 20. Åldring och livslängd för batteri, bild från Micropower Lionova (Tomsic, 2018)

Det är den mest åldrade modulen i batteriet som sänker hela batteriets totala kapacitet. Byter man ut den mest utslitna modulen kan man förlänga hela batteriets livslängd. (Tomsic, 2018)



Figur 21. Batteriets mest utslitna modul sänker hela batteriets kapacitet, bild från Micropower Lionova (Tomsic, 2018)

I Ferroamps systemlösning är batterilager kopplade till elnätet via en energy storage optimizer (ESO) och batterierna har en nominell spänning på 604-607V. När de laddas så behöver man en högre spänning på i normalt sett 720VDC, en högre spänning än detta är inte önskvärd då de vill kunna reglera på deras likströmsnät med deras "group control". (Karlström, 2018)

Både Netpower och Ferroamp kan koppla in vilka externa solceller eller batterier som helst till deras DC-nät-system. (Lidström, 2018b) (Karlström, 2018)

I simuleringar vid Akademiska hus projekt A Working Lab på 9585kvm och med 170kW solceller hittade de inga större effektiviseringsvinster med batterilager större än 300kWh för det studerade fallet. (Hansson, 2018)

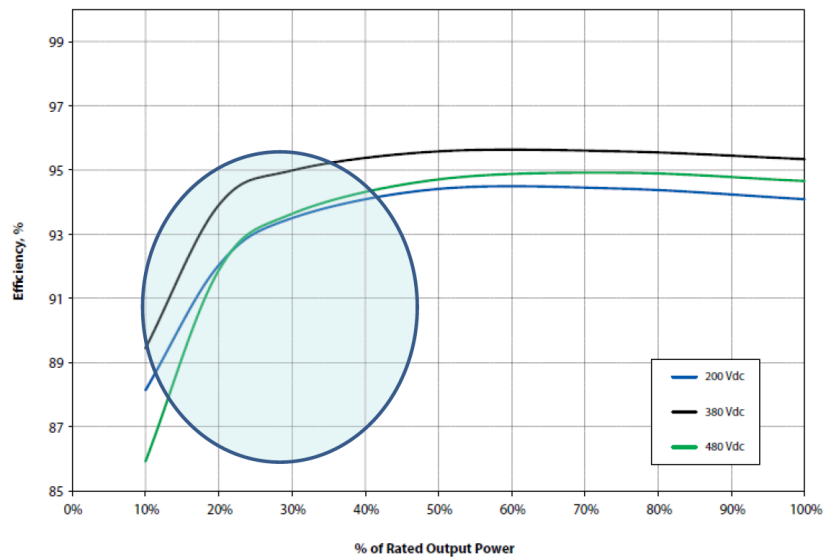
Lidström (2018a) berättar att han tror att batterier kommer bli vanligare i och med utvecklingen av elbilar och sjunkande batteripriser. Uttjänade elbilsbatterier (under 80% av sin fulla kapacitet) kommer även att användas i större utsträckning för stationära applikationer, även detta ökar de ekonomiska incitamenten till användning av batterilösningar. Netpower använder ett batteri för backupapplikation i sina installationer, dessa batterier hålls fullt laddade vid normal drift för att kunna agera som backup vid elavbrott.

4.15 Solceller

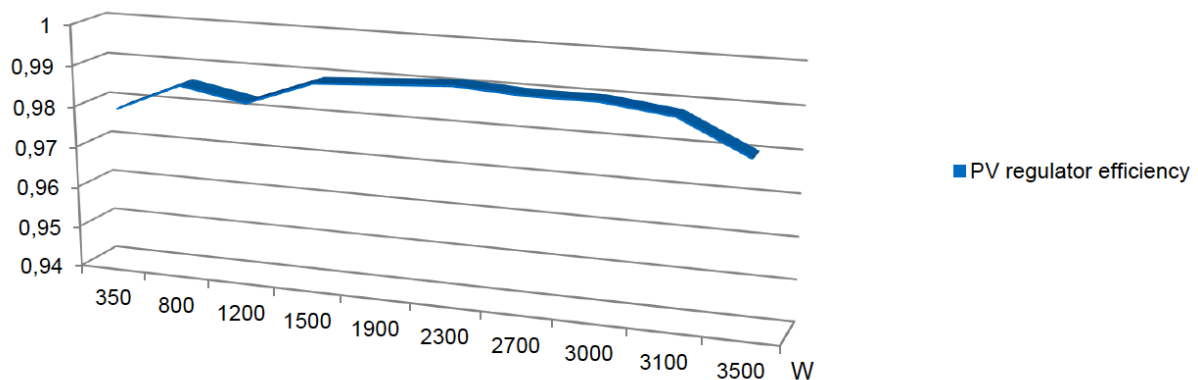
Lidström (2018a) argumenterar för att solceller ska byggas på byggnaders tak och gärna på byggnader med en lastprofil som matchar dagens soltimmar. Om en solelspark byggs på en åker någonstans i Sverige behöver du först bygga flera transformatorer, dra långa kablar och växla om till växelström för att skicka ut det på elnätet. Sedan tas elen från elnätet in i fastigheten. Eventuellt kan strömmen sedan behöva likriktas för att ladda upp ett batteri, för att sedan växelriktas igen till fastighetsnätet. I slutskedet likriktas det återigen i exempelvis en LED-armatur. I denna långa process har ca 25% av elenergin gått förlorad. Om man istället bygger solcellerna på till exempel ett köpcenter så skiner solen på dagen när köpcentret är öppet och inte när det ändå är stängt. Dessutom utnyttjas den befintliga infrastrukturen inklusive fastighetens befintliga elnät. I och med detta får man en mycket högre verkningsgrad med takmonterade solceller och ett internt likströmsnät.

Ferroamp har som nämnts en solsträngsoptimerare i sitt sortiment kopplad med kommunikation till sin systemlösning för ett likströmsnät. (Karlström, 2018)

Netpower har tagit fram en egen DC/DC-solregulator vid namn NetTracker. Den har en input-spänning på 360-600VDC och en Output-spänning på 350-380VDC (4kW och skalbar). (Lidström, 2018b) NetTracker har en flat verkningsgradskurva som klarar hög effektivitet även vid lägre effekter, 98-99% verkningsgrad över hela intervallet (*Figur 24*). Detta kan jämföras mot en solinverter från ABB (*Figur 23*) där verkningsgraden sjunker kraftigt vid låga effekter. (Lidström, 2018a)



Figur 22. Verkningsgradskurva från vanlig solel-inverter från ABB (Lidström, 2018b)



Figur 23. Verkningsgradskurva från solregulatorn NetTracker från Netpower (Lidström, 2018b)

4.16 Hissar

För ungefär 50 år sedan monterade hisstillverkaren KONE hissar på likströmsnät. Sedan har man matat likströmsmotorer med växelström och använt roterande omformare till dessa. Under 80-talet började KONE använda likriktare med kondensatorer. Dagens hissar använder frekvensomvandlare för att styra sina motorer. Idag finns inga direkt likströmsmatade hissar i deras sortiment och de har inga erfarenheter av sådana projekt. (Ström, 2018)

4.17 Elbilar & laddning

Netpower har inte arbetat med någon lösning för laddning av elbilar ännu, likströmsnätsbranschen är fortfarande i ett tidigt skede där annat först prioriteras enligt Lidström. Netpowers ägare Comsys som arbetar med AC-system har dock tittat närmare sänkning av effekttoppar. Det betyder i detta fall att man ska kunna använda bidirektionella laddstationer och utnyttja batterierna i elbilar, lastbilar och bussar för att hantera och sänka effektpikar i byggnader eller lokala elnät. Lidström tror att likström kommer öka i elbils-laddningssammanhang, men det finns en problematik i och med olika internationella

standardiseringar kring laddkontakter, olika batterier, teknologier och protokoll. Detta kräver ofta dubbla kontakter i bilen eller adaptrar för att få det att fungera. Det finns dock likströmsladdare som till exempel den japanska Chademo-kontakten, men den är just för deras bilar, medans europeiska elbilar med snabbladdning använder CCS. Elbilsmärket Tesla har också ett eget system för DC-snabbladdning som kallas för Superchargers. Därav tror Lidström att AC-laddare kommer gälla generellt i flera år framöver. (Lidström, 2018a)



Figur 24. DC-kontakten Chademo för elbilsladdning (Garo, 2018)



Figur 25. DC-kontakten CCS för elbilsladdning (Garo, 2018)

Ferroamp har ett samarbete med elbilsladdningsföretaget Chargestorm där de håller på att utveckla en elbilsladdningslösning kopplat till deras likströmsnät. Denna förväntas vara färdig som produkt under hösten 2018 eller våren 2019. Billaddarna kommer finnas med både CCS och Chademo som båda är likströmsladdare för snabbladdning ($\geq 50\text{kW}$), men Karlström ser att det i framtiden kommer bli mest intressant och relevant med en smart laddare som kan ladda med lägre effekter, till exempel 6, 18 eller 24kW, och istället anpassa laddningen utefter tillgänglig överskottseffekt i likströmsnätet, på det viset skulle man kunna sänka laddningskostnaden till ca 20-50öre/kWh istället för ca 1kr/kWh som vore kostnaden direkt från elnätet. (Karlström, 2018)

Ochno skulle gärna se en framtida möjlighet att kunna göra DC-elbilsladdare enligt samma protokoll som USB-C för att lättare kunna arbeta med elen åt båda håll mot byggnaden för effekttopphantering. (Ermis, 2018b)

4.18 Energitjänster

Idag finns det många företag som säljer solceller, batterier och laddstolpar för elbilar, men för att få tillräckliga affärsmässiga incitament behöver man kunna sälja fler tjänster än underhåll och reparationer. Tjänster som optimerar användningen av den befintliga utrustningen, till exempel att lyckas sänka effektkostnader genom styrning, kan komplettera de uppenbara installation- och service-tjänsterna. (Karlström, 2018)

Ermis (2018a) trycker på fördelen med det standardiserade protokollet hos USB-C tillsammans med möjligheten att leda ström i båda riktningarna och hur detta kan användas effektivt för smart styrning av elförbrukningen. Om detta protokollet kan utvecklas och skaleras (Till exempel för elbilsaddning) så kan samma enkla lösning användas för fler appliceringar av smarta styrsystem och energitjänster.

4.19 Lagar och regelverk

Det finns undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857), dessa beskrivs i förordning (2007:215). Där definieras att bland annat universitetsområden, inom byggnader, skolor, sjukhus, industriområden och flygplatser med mera är undantag och kan byggas och brukas utan nätkoncession. Även hopkoppling av flera anläggningar med produktion ingår i dessa undantag. (Becker, 2018)

22 a § Ett internt nät som förbinder två eller flera elektriska anläggningar för produktion, vilka utgör en funktionell enhet, får byggas och användas utan nätkoncession. Förordning (2008:897).

Figur 26. 22 a § från förordningen (2007:215) (Becker, 2018)

En översyn av nätkoncessionen har påbörjats i uppdrag från regeringen och beräknas vara klar innan juni 2019. Utredningen menar att undersöka möjligheten att tillåta att direkta ledningar som ansluter en ägares elproduktion med densammes elkonsumention. (Becker, 2018)

Även på EU-nivå införs direktiv som ska ge mandat till local energy communities (LEC) att hantera egenproducerad elenergi. Bland dessa direktiv finns Revised Electricity Directive (E) som ska träda i kraft 2020 och Revised Renewables Directive (RED II) som träder i kraft 2021. (Becker, 2018)

Article 16
Local energy communities

1. Member States shall ensure that local energy communities:
 - (a) are entitled to own, establish, or lease community networks and to autonomously manage them;
 - (b) can access all organised markets either directly or through aggregators or suppliers in a non-discriminatory manner;
 - (c) benefit from a non-discriminatory treatment with regard to their activities, rights and obligations as final customers, generators, distribution system operators or aggregators;
 - (d) are subject to fair, proportionate and transparent procedures and cost reflective charges.

Figur 27. Utdrag från Revised Electricity Directive (E) (Becker, 2018)

Article 22
Renewable energy communities

1. Member States shall ensure that renewable energy communities are entitled to generate, consume, store and sell renewable energy, including through power purchase agreements, without being subject to disproportionate procedures and charges that are not cost-reflective.

Figur 28. Utdrag från Revised Renewables Directive (RED II) (Becker, 2018)

4.20 Befintliga projekt i Sverige

4.20.1 Forskningsvillan⁵ (RISE)

Forskningsvillan är en villa placerad på SPs område i Borås där de bland annat har installerat ett likströmsnät och mäter allting mycket noggrant. Likströmsnätet är uppbyggt tillsammans med Ferroamp och deras systemlösning. På byggnaden finns solceller och inuti har de ett 7,2kWh batterilager samt bland annat kopplat in en värmepump från NIBE och ett FTX-aggregat från Systemair som matas med likström. I litteraturen har de funnit en energieffektiviseringspotential på 2-25% men detta projekt är fortfarande oavslutat. Projektet började 2017 och huset sattes i drift fjärde kvartalet 2017, därefter sker mätningar till och med tredje kvartalet 2019 för att sedan utvärderas och sluta i ett resultat i slutet av 2020. (Ollas, 2018)

4.20.2 Likström och Ö-drift i Åsaliden, Växjö (RISE)

Som en del av Green PE project⁶, ett projekt lett av University of southern Denmark, har RISE varit med och installerat ett likströmsnät parallellt med AC-nätet för demonstration i en

⁵ Forskningsvillans hemsida: <http://www.solartestbed.se/> (2018-10-17)

⁶ Green PE projects hemsida: <https://balticgreenpower.eu> (2018-10-17)

familjevilla i Åsaliden i Växjö. Villan var från början utrustad med 20st solceller med en kapacitet på 5000kWh/år samt 14st solfångare för uppvärmning av varmvatten. Sedan byggdes det till ett likströmsnät med ett batterilager för bland annat backup och ö-driftsfunktion. Likströmsnätet ligger på 350VDC och tekniken levererades av Netpower. I huset drivs all fast belysning, datorer och kommunikationsutrustning, skärmar och TV-apparater samt de flesta cirkulationspumpar och ventilationsfläktar på likström. De lärde sig även att induktionsspisar kan matas med likström även om detta inte implementerats i detta projekt. I byggnaden installerades även 6st väggkontakter för likström samt kontroll och visualiseringssystem. Till batteriet finns även en DC/AC-omvandlare vid elavbrott för alla AC-laster. (Qvarnström, 2018)

En ordentlig analys av kostnads- och energieffektiviteten har ej genomförts ännu. Några av lärdomarna från projektet har dock varit att det är fördelaktigt att inte växla mellan AC och DC samt att belysning och många andra befintliga produkter redan kan använda likström direkt. Dessutom fick de lärdomen att det är möjligt att göra en installation som denna med en familj boende i huset på ett säkert sätt och enligt befintliga regelverk. (Qvarnström, 2018)

4.20.3 Vasakronans DC-projekt

Fastighetsbolaget Vasakronan har tillsammans med Ferroamp byggt ett Power Share-nät mellan flera byggnader med solceller i Science park i Uppsala. I oktober 2018 hade deras system kört i ett år och ska nu utvärderas för att fastställa resultatet. Målsättningen med projektet har varit att maximera egenanvändningen av den egenproducerade solelen. (Näslund, 2018)

Vasakronan ska även med Ochno göra ett pilotprojekt i Vasakronans huvudkontor i Stockholm där de ska titta på anslutning av belysning och kontorsapparater samt styrning av dessa. Där hoppas de på att få en enklare styrning av bland annat belysningen jämfört med dagens andra komplexa och dyra lösningar. (Näslund, 2018)

4.20.4 A Working Lab (Akademiska hus)

A Working Lab är en kontorsbyggnad i Johanneberg Science Park vid Chalmers i Göteborg som byggs av Akademiska hus. A Working Lab blir en miljöbyggnad guld-klassad (<35kWh/kvm/år) kontorsbyggnad på 9585kvm och sju våningar som nu byggs med ett likströmsnät från Ferroamp installerat. Projektet menar att bland annat visa på möjligheter samt för- och nackdelar med likströmsnät kopplat till energilager och solproduktion. Byggnaden planeras stå färdig i augusti 2019. (Hansson, 2018)

På fastigheten installeras 170kW solceller och 200-300kWh energilager. Även ett platsbyggt ventilationsaggregat från Voltair med 20st fläktar och 1300st LED-belysningsarmaturer från Glamox monteras med DC-matning. På sommartid kommer även en VVB (varmvattenberedare) att användas med DC-drift. (Hansson, 2018)

Enligt forskning och simuleringar från examensarbetare på Akademiska hus beräknas en årlig energieffektivisering på 1,5%. I dessa beräkningar noteras en negativ påverkan av vinterns månader med låg solelsproduktion. Även icke DC-optimerade komponenter påverkar effektiviseringspotentialen negativt. (Hansson, 2018)

4.21 Framtiden och hinder för utvecklingen

Ermis (2018b) sammanfattar på DC-seminariet att utvecklingen inte har kommit utav ett generellt likströmsintresse, utvecklingen har kommit retroaktivt efter industrialiseringen av solceller, elbilar, standarder som USB-C med mera. Kommersiella behov har lett till industrialisering som lett till sänkta kostnader och en global acceptans för exempelvis stora solpanelinstallationer och att alla mobiler ska använda USB-C.

Det finns mycket utrustning som kan använda likström men att dessa måste certifieras och testas vilket är ett tidskrävande arbete som måste göras. (Lidström, 2018a)

I slutet av DC-seminariet i Göteborg (2018-09-13) fick alla föreläsare yttra sig om vad de ansåg vara de största hindren för utvecklingen och användningen av likström i infrastrukturen, dessa sammanfattas i *Tabell 5*.

Tabell 5. Hinder för utvecklingen av DC-användning i infrastrukturen ifrån DC-seminariet

Hinder	Beskrivning	Källa
Affärsmässiga incitament	DC måste leda till tydliga ekonomiska vinster för att få bättre affärsmässiga incitament och slå igenom, inte bara genom krav och regler.	(Thiringer, 2018) mfl
Se alla nyttor	Man måste se alla nyttor med DC-nät som tex resiliens, övervakning och styrning utöver de mindre omvandlingsförlusterna	(Lundström, 2018)
Okunskap hos elkonsulter	Användning av DC-nät är nytt och kräver att sätta sig in i ett helt nytt system, detta kan leda till motvillighet och tröghet. Mest entusiaster nu, kunskapen måste spridas.	(Lidström, 2018b)
Paradigmskifte	Hela marknaden måste tänka om och få samt ta till sig nya standarder vilket skapar tröghet.	(Lundström, 2018)
Efterfrågan	Efterfrågan måste öka för att det ska finnas incitament för nya DC-produkter. Dock finns idag fler produkter som kan hantera DC än man tror.	(Lidström, 2018b) mfl
Standardisering	Det krävs en tydligare gemensam standardisering av systemet för att aktörer ska våga satsa på utveckling av lösningar kring detta. Arbete pågår men tar tid.	(Lundström, 2018), (Becker, 2018), (Ermis, 2018b) mfl

Tröghet i regelverk och brandskydd	Brandingenjörer kan sätta stopp för installationer på grund av otillräckligt utvecklat regelverk.	(Becker, 2018)
Lagstiftning	Dessa installationer klassas ofta efter arbetsmiljölagen vilket kan vara ett hinder i utvecklingen.	(Tomsic, 2018)
Organisatoriska hinder	Ansvarsfördelning, även om en DC-installation skulle sparas in på tex sex månader så kanske inte beslutsfattaren är den som betalar elräkningen.	(Lidström, 2018b)

5. Resultat

Detta resultatet är utifrån vad som är möjligt eller beprövat i Sverige idag med befintliga aktörer. Likströmsnätsmarknaden är under snabb utveckling och i kommentarerna nyanseras implementerbarheten. Övriga frågeställningar tas upp och diskuteras vidare i diskussionen.

Tabell 6: Färgkodnings betydelse i resultatet i Tabell 7

Möjligt och beprövat med DC-drift i Sverige idag.	Delvis eller potentiellt möjligt med DC-drift i Sverige idag.	Ej möjligt med DC-drift i Sverige idag.
---	---	---

Tabell 7. Möjlighet till DC-drift av/i komponenter och laster i Sverige idag

Komponenter och laster i kontorsbyggnad	Kommentar
Internt distributionsnät	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ja, företagen Netpower (350VDC) och Ferroamp (760VDC (+/- 380VDC)) har idag kompletta systemlösningar för likströmsdistributionsnät i byggnader. Dessa inkluderar övervakning, styrsystem, säkringar och val av kablar med mera. Båda systemen stödjer inkoppling av solceller och batterilager. ▪ Företaget Ochno har även en lösning för slutdistribution till konsumenten som kopplas till byggnadens interna distributionsnät. Detta nät är baserat på USB-C-standarden och har möjlighet till ett smart styrsystem.
Belysning	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ja, Netpower och Ochno har idag lösningar för DC-matad LED-belysning. ▪ Glamox levererade DC-drivna LED-armaturer till Akademiska hus projekt A Working Lab. ▪ Fagerhult, Helvar och Philips lighting har inga kommersiella produkter avsedda för direkt DC-drift. De har dock alla produkter som klarar av DC-drift avsedd för nödbelysning på mellan 200-250VDC, dessa kan med en enkel omprogrammering lysa med full effekt.
Vägguttag & kontakter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Det finns DC-kontaktdon för vissa produkter, men det finns ingen officiell bred standard för detta ännu.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>CEE-plug</u>: $\leq 690\text{VDC}$ & $\leq 250\text{A}$, för installationer av tex servrar utanför rack. ▪ <u>Saf-d-grid</u>: $\leq 600\text{VDC}$ ($\leq 400\text{VDC}$ vid brytning under last) och $\leq 30\text{A}$, för installationer av tex servrar inuti rack. ▪ <u>Svensk draft-standard</u>: $\leq 400\text{VDC}$ & $\leq 2,5\text{A}$, för bland annat laddning av laptops genom befintlig laddningskabel inklusive AC/DC-konverteraren på sladden. (Primärswitchade SMPS) ▪ <u>USB-C</u>: $5\text{-}20\text{VDC}$ och $\leq 5\text{A}$, för laptops, mobiler, surfplattor, skärmar och produkter för runda DC-pluggar samt Ochnos belysningsystem.
Hissar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Idag finns inga kommersialiserade möjligheter till likströmsmatade hissar enligt KONE. Dagens hissar använder dock varvtalsstyrda motorer som potentiellt skulle kunna matas med DC, men detta är inte aktuellt eller beprövat med dagens DC-nät.
Pentry (köksdel)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Det mesta i kök kan idag inte använda likström. ▪ Till exempel diskmaskin, mikrovågsugn, traditionell spis/ugn och kyl/frys (Utom mindre kyl/frys på $12/24\text{VDC}$ för tex husvagnar eller båtar) ▪ Induktionsspis kan dock använda DC (Thiringer, 2018) (Qvarnström, 2018)
Ventilation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Majoriteten av dagens fläktar använder EC-motorer som fördelaktigt kan använda DC, Det finns flera exempel på projekt som använt DC-matade fläktar. ▪ Några företag som levererat eller bekräftat möjlighet till leverans är Voltair, Swegon, Systemair och EBM Papst.
Värmepumpar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Värmepumpar använder oftast varvtalsstyrda DC-motorer och en inverter för styrning vilket gör DC-matning möjlig. ▪ Produkter som testats med DC-matning har kommit från ABB (Netpower) och NIBE (RISE Forskningsvillan). ▪ Detta är dock i ett tidigt skede och nästa steg i DC-utvecklingen (Lidström, 2018a)
Pumpar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pumpar använder precis som värmepumpar varvtalsstyrda DC-motorer med inverter och kan därför rent tekniskt drivas med DC. ▪ Detta är mindre beprövat med DC-drift, men i RISEs projekt i Åsaliden drivs idag de flesta cirkulationspumparna med DC-matning.
Solceller (elproducent)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ja, solceller kan kopplas fördelaktigt till ett DC-nät med mindre omvandlingsförluster än mot ett AC-nät.
Kylning	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Har inte gjorts mycket med kylning och DC-matning idag, det är nästa steg i DC-utvecklingen (Lidström, 2018a) ▪ Netpower har dock varit i kontakt med Swegon om likströmsmatning av deras aktiva kylsystem.
Batterilager i systemet	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ja, batterilager kan kopplas fördelaktigt till ett DC-nät med mindre omvandlingsförluster än mot ett AC-nät.

Elbilar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Det finns likströmsladdare på marknaden men det är i ett tidigt skede inom likströmsnätsbranschen. ▪ Exempel på likströmsladdare är CCS, Chademo och Teslas Supercharger, men det finns flera olika kontaktdon och standarder på elbilar på marknaden så många bilar behöver adapterar för att fungera med dessa. ▪ Ferroamp utvecklar tillsammans med företaget Chargestorm en laddningslösning som ska finnas på marknaden hösten 2018/våren 2019. Denna laddare kommer att ha både Chademo och CCS.
Konferensrums- utrustning	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Större moderna skärmar med tex OLED-teknik kan idag drivas med USB-C på grund av idag låga effektuttag (Ermis, 2018a). Ingen information funnen om projektorer med DC-drift.
Laptops	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nästan alla nya laptops använder idag USB-C som bygger på DC. ▪ Laptops kan drivas direkt på 350VDC (Går igenom likriktaren i AC/DC-konverterare på sladden).
Stationära datorer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stationära datorer kan idag inte matas direkt med DC. Internt använder stationära datorer dock DC, men det är innanför aggregatet.
Mobiltelefoner & surfplattor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nästan alla nya mobiltelefoner och surfplattor använder USB-C (alla Android och snart Apple) som bygger på DC.
Serverar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Serverar matas fördelaktigt med DC. ▪ Det finns serverar som kan matas med 380VDC från bland annat HP och Dell.
Kopieringsmaskin & kontorsmaskiner	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kopieringsmaskiner och en del kontorsmaskiner kan inte använda direkt likström idag.
Mindre kontorsapparater & telefoni	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Använder DC på lägre spänningsnivåer, tex 48VDC för telefoni. Runda DC-pluggar kan bytas ut mot USB-C med enkel adapter (upp till ca 20V)

6. Diskussion

I majoriteten av de presenterade undersökningarna leder likströmsnät till energieffektiviserande vinster och i många även ekonomiska besparingar. Många produkter använder idag DC och ju större andel som kan matas direkt med likström ju färre omvandlingar krävs vilket leder till mindre förluster. Detta leder även till färre komponenter och mindre AC-hantering vilket leder till effektivare resursanvändning. Vid användning av högre spänningar än den konventionella 230VAC minskar även resursanvändningen i kabeldimensionerna. Den minskade resursanvändningen, den sjunkande kostnaden för batterier och solceller samt möjlighet till effektivare energianvändning och smartare styrning bör bidra till bättre och bättre ekonomiska incitament över tid.

6.1 Till vilken utsträckning är likströmsnät och DC-drift inom kontorsbyggnader möjlig med befintlig teknik i Sverige idag?

Vad gäller systemlösningar för DC-nät som distribution i byggnaden så finns kompletta lösningar för detta där Netpower och Ferroamp är de tydligaste aktörerna på den svenska marknaden. Båda har byggt upp ett system för enkel implementering av solceller och batterilager av valfritt fabrikat som sedan kopplas in till nätet via deras komponenter. Båda systemen är kompletta med övervakning, styrning och säkerhetssystem.

Netpowers nätspänning ligger på 350VDC men har möjlighet att läggas på 380VDC vid behov, båda två ligger inom ETSI-standarden. Fördelen med 350VDC är att befintliga aggregat för 230VAC är dimensionerade att klara av 350VDC vilket gör det enklare att implementera befintlig teknik. Netpower har idag ingen lösning för att sälja el från likströmsnätet utan fokus har legat på att optimalt effektivisera elkedjan, därav installeras inte större lokal elproduktion än vad som kan användas. Batterilösningen för deras system används främst som backup vid elavbrott och batteriet hålls då fullt laddat vid normal drift.

Ferroamps nätspänning ligger på +/-380VDC (760VDC) men kan omprogrammeras till +/-350VDC (700VDC) om detta visar sig bli en standard. Idag kan dock endast tvåfassspänningen 760VDC användas på grund av instabiliteten som skulle uppstå vid enfasen 380VDC. Om 380VDC eller annan spänning ska användas får denna transformeras ned från 760VDC. Fördelen med 760VDC blir då minskad kabelarea och därmed resursanvändning och kostnad för detta jämfört med lägre spänning. Den högre spänningen kan dock kräva annan hantering, bland annat ligger den över ULs maxgräns på 600VDC, men denna standard gäller främst i USA och inte i Sverige. Ferroamp har en lösning för att sälja överskottsel till det yttre elnätet. Batterilösningen för deras system används främst för att optimera självkonsumtionen och sänka effekt-toppar men kan potentiellt i framtiden även användas för backup.

Många apparater kan använda likström men få är idag CE-märkta för DC-drift vilket kan påverka bland annat garantin vid användning med DC. Detta bör dock kunna diskuteras vidare med leverantörer då det finns flera exempel på företag som yttrat att deras produkter kan få matas med likström.

Vad gäller LED-belysning som idag har blivit den vanligaste belysningstekniken så bygger denna i sin natur på likström och det finns inga stora tekniska hinder för DC-drift av dessa. Oftast behöver man bara byta ut drivdonet i armaturen till ett DC/DC-don istället för ett AC/DC-don. Det är därmed en av de enklare delarna att implementera i ett DC-nät.

Vad gäller kontaktdon finns inga tydliga standarder för DC-matning men det finns flera lösningar för olika applikationer. Netpower tillverkar och använder CEE-pluggar för installationer av servrar, routrar och viss elektronik utanför rack. Inuti rack använder de främst kontaktdonet Saf-d-grid. För lägre effekter ($\leq 1\text{kW}$) kan även en svensk draft-standard användas utanför rack. Denna kan även användas för laddning av laptops och de flesta aggregat med primärswitchade SMPS. USB-C är en väl utspridd DC-kontakt som redan idag används till många apparater som laptops, surfplattor, mobiltelefoner och viss elektronik.

Snart har även iPhones och Ipads USB-C. Alla runda DC-pluggar ($\leq 20\text{VDC}$) kan även idag drivas med USB-C och enkla adaptrar. Med adaptrar kan bland annat skärmar matas med USB-C.

Det som idag tydligt saknar kontaktdon för DC-drift är stationära datorer, kopiatorer och kontorsmaskiner samt köksprodukter. Även användning av DC-laddare för elbilsladdning kopplat till DC-nät är idag ej välutvecklat. Innan Ferroamp har lanserat sin laddlösning finns inga tydliga kompletta alternativ för detta.

Likströmsdrivna fläktar för ventilation är beprövat i flera projekt och en effektkrävande elanvändare som fördelaktigt kan kopplas till ett DC-nät. Enligt Ermis bör det vara enklast att idag få mindre svenska tillverkare att leverera fläktar för DC-drift, detta då det för dem finns störst ekonomiska incitament för en beställning av storleksordningen som ett byggnadsprojekt innebär. Några exempel på tillverkare som levererat eller yttrat att de kan leverera DC-matade fläktar är Swegon (Netpower), EBM Pabst (Ferroamp, 230VDC), Systemair (Forskningsvillan, Ferroamp), Voltair (Akademiska hus, Ferroamp) och IV Produkter (24VDC och 48VDC idag i sortiment).

Vad gäller värmepumpar och pumpar är det inte lika beprövat i samma utsträckning som fläktar, men det finns exempel på där detta är implementerat med DC-nät. Det är tekniskt möjligt då de oftast använder ett internt DC-led i och med varvtalsstyrda DC-motorer. Detta bör liksom fallet med fläktar vara möjligt att få leverantörer att leverera efter förfrågan. Netpower har testat och lyckats med värmepumpsvarvtalsstyrning från ABB upp till 2kW och i RISEs projekt Forskningsvillan användes en DC-matad värmepump från NIBE. I RISEs projekt i Åsaliden drivs även flera cirkulationspumpar på DC.

När det gäller kylning finns inga beprövade projekt med DC-matning men i framtiden finns möjligheter även för detta på grund av ett internt DC-led.

Serverar använder fördelaktligen likström och det finns exempel på serverar från bland annat HP och Dell som använder 380VDC.

Electrolux Laundry Systems har idag inga möjligheter till DC-drift men detta är inte aktuellt för kontorsbyggnader.

Hissar har idag inga möjligheter till DC-drift enligt KONE. Därför skulle hissar i en kontorsbyggnad idag kräva en egen växelströmsbaserad trefas-matning (400VAC). Men hissar har varit likströmsmatade i historien vilket tyder på att det kan bli möjligt igen om marknaden finns.

6.2 Vilka val bör göras vid implementering av DC-nät i en kontorsbyggnad idag utifrån genomförbarhet samt resurs- och energieffektiviserande fördelar?

Valet mellan Netpowers och Ferroamps distributionssystem beror idag på vad som prioriteras i det aktuella projektet. Ferroamps system minimerar kabeldimensioner men kräver fler transformeringar då inga produkter idag kan använda 760VDC direkt idag. Netpowers systemspänning ligger närmare apparaternas spänningsnivåer och befintliga aggregat för 230VAC är dimensionerade att klara denna spänning. 350VDC ligger även inom ETSI-standard. Om en tydligare systemspänningsstandard tas fram i framtiden kan denna hjälpa till att göra valet enklare. Oavsett systemval så bör solceller eller annan förnybar DC-producerande elgenerering samt batterilager implementeras då dessa maximerar incitamenten till att använda DC-distribution i byggnaden.

Enligt Chalmers undersökningar uppnås bäst resultat vid användning av fjärr- eller bergvärme vilket idag också är vanligast vid byggande av kontorsbyggnader. Direkt elvärme är idag ovanligt och ett generellt ineffektivt alternativ för uppvärmning.

Standarder som kan förhållas till idag är bland annat ETSI (Europa) och UL (USA) vilka ger riktlinjer till stora delar av marknadens produkter. Håller man sig innanför ETSI-standardens 260-400VDC kan många produkter och komponenter framtagna för denna standard användas. Att hålla sig under ULs 600VDC leder till att inga specialutbildade elektriker krävs vid installation men denna standard är som nämnt framförallt aktuell i USA.

Det finns flera alternativ för belysningslösningar med DC-drift. Dels så finns Netpowers lösning NetLight som drivs på 380VDC inmatning. Även Ochno har en lösning för belysning med DC-drift och styrning via USB-C. Lidström (2018a) är dock kritisk mot effektbegränsningen med USB-C på 100W. Ermis (2018a) på Ochno pekar dock på styrkan och kostnadseffektiviteten i styrningen via USB-C. Belysningsföretaget Glamox har också levererat DC-armaturer kopplat till Ferroamps system i Akademiska hus A Working Lab. Fagerhult, Helvar och Philips Lighting har idag alla produkter i sitt sortiment som kan matas med DC för nödbelysning på 200-250VDC. Med en enkel omprogrammering kan dessa lysa med full styrka även på DC-drift. Detta bör inte påverka driften men det är inte vad produkterna är utformade för. Valet mellan dessa beror på vilken systemspänning man valt att arbeta efter och om Ochnos USB-C-lösning använts vilket då gör detta till ett alternativ, där bör även USB-C-protokollets styrningsmöjligheter tas med i resonemanget. Belysningsalternativen för nödljus användning kan användas med en DC/DC-transformering men Netpowers NetLight på 380VDC ligger närmare alternativen för nätspänningar vilket bör leda till mindre förluster. Några närmare kostnadsjämförelser görs dock ej i detta arbete. Glamox spänningsnivå är okänd.

Valet av kontaktdon beror på vad som ska drivas, men nämnda möjligheter finns under föregående rubrik 7.1. USB-C skulle kunna driva det mesta av det vardagliga arbetet i en kontorsmiljö. Ochno har där en systemlösning med kontroll och styrning som kopplas till det mer högspända distributionsnätet i byggnaden.

I och med bristen på utvecklade elbilsladdare blir växelströmsladdare fortfarande blir det aktuella valet vid implementering av detta i en kontorsbyggnad idag.

Vad gäller fläktar föreslås någon av de tidigare nämnda under rubrik 7.1 där Netpowers samarbete med Swegon framstår som den tydligast framtagna specifikt för likströmsdrift, men ur ett tekniskt perspektiv ska de flesta varumärkena klara av DC-drift. Detta val bör ske i kommunikation med fläktleverantören. För en kontorsbyggnad är dock inte de befintliga lågspänningsfläktarna från IV Produkter på de lägre effekterna aktuella.

Vad gäller Värmepumpar och pumpar bör aktörerna Netpower och RISE och deras leverantörer som har erfarenhet av tekniken kontaktas. Detta är mindre beprövat än till exempel fläktar för ventilation, därav kan detta implementeras om en leverantör finnes som kan lösa detta för det aktuella projektet.

Vid val av servrar bör Netpower kontaktas som kommer från telekombranschen och har mycket erfarenhet av likström. Även leverantörerna HP och Dell som har likströmsmatade servrar kan kontaktas för mer information. En spänningsnivå nära 380VDC bör vara fördelaktig för drift av dessa för minimerade omvandlingsförluster.

Växelström bör dras till koptorrummet, hissen, kökspentryt och garaget med elbilsladdare för full funktion idag. Om det är aktuellt kan DC-drift av induktionsspis undersökas vidare för applikation i kök.

6.3 Vart är LVDC-marknaden på väg?

Marknaden väntar idag på tydliga systemstandarder och regelverk vilket skulle kunna öka genomförbarheten för DC-användning och fler aktörer skulle våga satsa på att göra produkter för detta, det skulle sätta fart på marknaden. Tydligare standarder från IEC och IEEE efterfrågas och är under utveckling. En av de största frågorna är vilken spänningsnivå systemstandarderna kommer hamna på. Aktörer i branschen tror att denna kommer att hamna på 350VDC, 380VDC, +/-350VDC eller +/-380VDC. Både Netpowers och Ferroamps systemspänningar ingår i eller kan justeras till dessa. Även regelverk som premierar lösningar för ökad självkonsumtion av egenproducerad el är under utveckling vilket kan underlätta framfarten för DC-nät. Alla dessa förändringar tar dock tid.

Andersson på IV Produkter nämner att mindre fläktar på 50-100W potentiellt skulle kunna vara en lösning för separata lägenheter. 50-100W ligger i effektintervallet för USB-C vilket då potentiellt skulle vara en framtida lösning för effektiv och smart styrning av ventilation. Detta är dock inte bekräftat i realiteten.

I framtiden är övergången mot DC i byggnader naturlig då elförbrukningen i byggnader bygger mer och mer på DC. Om antalet demonstrationer ökar går det lättare att visa på fördelarna med likströmsnät vilket skulle kunna öka efterfrågan efter densamma. Många av de nämnda pågående projekten är ännu ej färdigställda men kommer snart att visa på tydligare

resultat. I detta fall att fler tydliga fördelar kan påvisas och bekräftas bör marknaden kunna växa naturligt och priserna sjunka vilket skulle öka de affärsmässiga incitamenten. Utöver de ibland svårkommunicerade ekonomiska incitamenten idag finns en tröghet hos marknaden och installatörer som måste ta till sig den nya kunskapen, detta får utvecklingen att ta tid. Vid tydligare standarder som man vet att marknaden följer smalnas kunskapen av och det blir lättare att få marknadsaktörer att ta till sig den. I framtiden bör värmepumpar, pumpar och elbilsaddare på DC bli allt vanligare och enklare att implementera. Även kylning och hissar bör kunna byggas med DC-drift i framtiden om marknaden finns.

7. Slutsatser

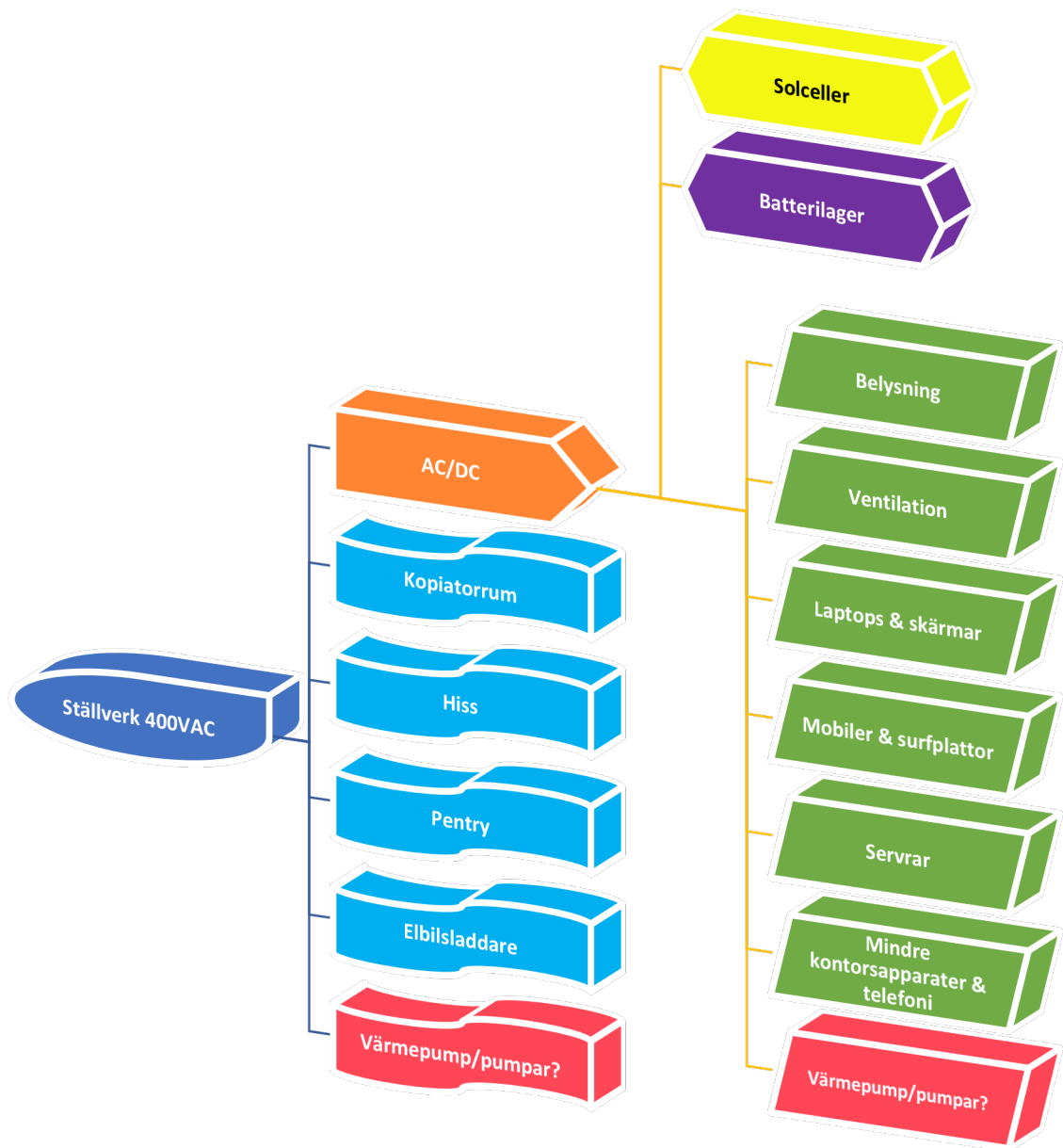
Systemlösningar för DC-nät finns och valet mellan Netpowers 350VDC och Ferroamps +/- 380VDC (760VDC) beror idag på vad som prioriteras i det aktuella projektet.

Då inte allt i en kontorsbyggnad idag kan drivas med likström och att de kvarvarande AC-lasterna är stora blir en hybrid av AC och DC det naturliga valet. En centraliserad likriktning till den stora andelen DC-drivna komponenter som finns för ändå med sig många fördelar. Förslagsvis bygger man därför en centraliserad likriktning efter ställverket för dessa delar. En del slutanvändning kommer dock kräva ytterligare en DC/DC-transformering innan användning beroende på spänningsanvändning i nät och slutanvändning. Undersökningen visar på att vid installerande av ett DC-nät i en kontorsbyggnad idag så bör huset ha solpaneler och ett batterilager. Dessutom bör belysning, ventilation, laptops, mobiler, surfplattor, servrar och mindre kontorsapparater och telefoni drivas med likström från DC-nätet. I detta förslag används endast laptops (ej stationära datorer) i kontorsmiljön och större OLED-skärmar till konferensrum då ingen data på projektorer är funna. Därmed kan USB-C främst användas i kontorsmiljön. För servrar med mera kan då CEE-pluggar (utanför rack) och Saf-d-grid-kontakter (inuti rack) användas och vid behov även den svenska draft-standarderna om fler laster med primärswitchade SMPS behövs och visar sig kunna drivas med detta.

Förslagsvis kan även prövas att driva värmepumpar och pumpar med likström om leverantörer för detta finnes, annars får dessa drivas med konventionell växelström.

Växelström behöver idag användas i kopianrummet, hissen, kökspentryt och garaget med elbilsaddare och behöver därför egen AC-matning.

Denna slutsats sammanställs översiktligt i *Figur 29*.



Figur 29. Förslag på översiktligt system över elanvändare internt i en kontorsbyggnad

Utvecklingen av DC-nät i byggnader är naturlig i och med alla DC-laster i en byggnad samt flera fördelar som resurs- och energieffektivitet. När tydligare standarder formuleras bör marknaden växa och tekniken bli billigare att implementera. I framtiden bör även fler och fler elförbrukare kunna DC-matas när marknaden finns.

8. Förslag på vidare studier

- Jämföra framtagna förslag med motsvarande växelströmslösning vad gäller energieffektivitet.
- Jämföra framtagna förslag med motsvarande växelströmslösning vad gäller kostnadseffektivitet vad gäller uppbyggnad och/eller livscykel.
- Titta närmare på regelverk och brandregelverk med mera vad gäller likströmsnät, finns det några hinder för implementeringen av likströmsnät?
- Kartlägga vilka produkter med primärswitchade Switching Mode Power Supply (SMPS) som skulle kunna fungera med direktmatad 350VDC.

Referenser

- Adolfsson, I., 2018. *Teknisk chef på Nexans* [Intervju] (30 08 2018).
- Andersson, G., 2018. *IV produkter* [Intervju] (04 09 2018).
- Becker, A., 2018. *DC-nät parallellt med konventionella AC-nät - fördelar och utmaningar*. Göteborg: Ferroamp.
- Berglund, K., 2018. *Teknisk chef på Draka* [Intervju] (30 08 2018).
- Björkgren, M., 2018. *Senior advisor på Helvar* [Intervju] (03 09 2018).
- Bruer, M., 2018. *VD på Flux AB* [Intervju] (02 07 2018).
- Chalmers & RISE, 2018. *DC-seminarium*. [Online]
Available at: <http://app.bwz.se/ri/b/v?webpage=123&ucrc=1708440C>
[Använd 16 10 2018].
- Chauhan, R. K. o.a., 2016. Voltage Standardization of DC Distribution System for Residential Buildings. *Journal of Clean Energy Technologies*, 05, pp. 167-172.
- DCC+G, 2018. *DC components and grids Objectives*. [Online]
Available at: <http://www.dcc-g.eu/>
[Använd 12 11 2018].
- Direct current BV, 2018. *Direct current BV*. [Online]
Available at: <https://www.directcurrent.eu/en/>
[Använd 15 11 2018].
- Elbilsstatistik, 2018. *Elbilsstatistik*. [Online]
Available at: <https://www.elbilsstatistik.se/elbilsstatistik>
[Använd 04 04 2018].
- Elforsk, 1999. *Likström för drift av elektrisk utrustning i fastigheter*. [Online]
Available at:
<http://www.upn.se/UPN%20v.2%20files/Artiklar/Elforsk%20rapport%2099%203%20%20DC%20etapp%201%20.pdf>
[Använd 04 04 2018].
- Elkatalogen, 2018. *Elkatalogen*. [Online]
Available at: <https://www.elkatalogen.se/solceller-1/12v-kyllskap-frysar.html#0>
[Använd 22 10 2018].
- Energimyndigheten, 2018. *Energiläget 2018 - en översikt*, Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Ermis, O., 2018a. *VD och medgrundare på Ochno* [Intervju] (05 09 2018a).
- Ermis, O., 2018b. *USB Type-C för smarta likströmsnät*. Göteborg: Ochno.
- Garo, 2018. *garo.se*. [Online]
Available at: <http://www.garo.se/ladda-elbilen/elbilar-och-laddteknik>
[Använd 02 11 2018].
- Hansson, J., 2018. *A Working Lab*. Göteborg: Akademiska hus.
- IEC, 2017. *LVDC: The better way*. [Online]
Available at:
https://www.iec.ch/about/brochures/pdf/energy/iec_lvdc_the_better_way_en_lr.pdf
[Använd 29 11 2018].
- Incoord, 2018. *Incoord.se*. [Online]
Available at: <https://www.incoord.se/>
[Använd 05 11 2018].
- IVA, 2002. *Energianvändning i bebyggelse*. [Online]
Available at: <https://energimyndigheten.a->

w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2098

[Använd 06 11 2018].

Järpehult, D., 2018. *Laboratory manager på Fagerhult* [Intervju] (07 09 2018).

Johansson, M., 2018. *Utvecklingschef på Electrolux Laundry Systems* [Intervju] (05 09 2018).

Karlström, M., 2018. *Sälj & marknad och medgrundare på Ferroamp* [Intervju] (03 09 2018).

Lidström, S., 2018a. *Grundare och affärsområdeschef på Netpower (Comsys)* [Intervju] (11 09 2018a).

Lidström, S., 2018b. *We live in a DC world*. Göteborg: Netpower.

Lindahl, J., 2016. *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden*. [Online]

Available at:

http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/national_survey_report_of_pv_power_applications_in_sweden_-_2016.pdf

[Använd 04 04 2018].

Lundström, F., 2018. *Forskning och Innovation inom elsystemet*. Göteborg: Energimyndigheten.

Modigh, J., 2018. *Business Development Manager LED & Controls på Philips Lighting* [Intervju] (30 08 2018).

Näslund, U., 2018. *Teknisk chef på Vasakronan* [Intervju] (03 09 2018).

Netpower, 2018. *Netpower.se*. [Online]

Available at: <http://netpower.se/products/plugs-and-sockets/>

[Använd 30 10 2018].

Ollas, P., 2018. *Från solex till användare med minsta möjliga förlust*. Göteborg: u.n.

Paajanen, P., Kaipia, T. & Partanen, J., 2009. *DC supply of low voltage electricity appliances in residential buildings*. u.o., Proc. 20th International Conf. and Exhibition on Electricity Distribution.

Qvarnström, T., 2018. *Likström och Ö-drift i Åsaliden, Växjö*. Göteborg: RISE.

Rydh, M., 2018. *Elkonsult på Incoord* [Intervju] (25 10 2018).

Schavemaker, P. & Sluis, L. v. d., 2008. *Electrical Power Systems Essentials*. u.o.:Wiley.

Ström, O., 2018. *Chief field support på KONE* [Intervju] (04 09 2018).

Svenska kraftnät, 2014. *Elnät i fysisk planering*. [Online]

Available at:

<https://www.svk.se/contentassets/6a6447eac77848bdb900a1c6883178bf/elnat-i-fysisk-planering.pdf>

[Använd 06 11 2018].

Thiringer, T., 2017. *Besparingspotential för likströmsdistribution - en förstudie*, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Thiringer, T., 2018. *Energieffektivitet vid AC & DC i slutdistributionen*. Göteborg: Chalmers.

Tomsic, A., 2018. *Batteridimensionering för olika spänningsnivåer*. Göteborg: Micropower Lionova.

Webb, V.-J., 2013. *Design of a 380 V/24 V DC Micro-Grid for Residential DC Distribution*, USA: The University of Toledo.

Weiss, R., Ott, L. & Ulrich, B., 2015. *Energy Efficient Low-Voltage DC-Grids for Commercial Buildings*, Tyskland: Researchgate.

Wikipedia, 2018a. *Switching Mode Power Supply*. [Online]

Available at: https://sv.wikipedia.org/wiki/Switching_Mode_Power_Supply

[Använd 12 11 2018].

Wikipedia, 2018b. *IEC 60309*. [Online]
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_60309
[Använd 08 10 2018].

Vindlov, 2018. *Uppbyggnad*. [Online]
Available at: <https://www.vindlov.se/sv/steg-for-steg/svenskt-vatten/inledande-skede/planeringsforutsattningar/elnat/uppbyggnad/>
[Använd 04 12 2018].

Appendix

Intervjufrågor

Utgångspunkt för semistrukturella intervjuer.

- Har ni några produkter som kan matas med likström?
- Vilka produkter kan matas med likström?
- Vilka spänningar jobbar era produkter mot? DC eller AC?
- Har ni några DC-produkter under utveckling?
- Har ni några erfarenheter av likströmsmatad teknik?
- Vilka hinder ser ni för utveckling av likströmsmatade produkter?
- Har ni några tankar kring komponenterna i ett likströmsnät? Uttag, brytare, kablar mm?
- Hur ser ni på standarder vad gäller likström?