

Utredning av ett mikro DC-nät i Glava Hillringsberg - ett smart grid

Rapport

Rev: F

Datum: 2012-01-20

Uppgjord: John Åkerlund, Avbrottsfria Kraftnät UPN AB

Tel: 08/4460835, 070/7546855

E-mail: john.akerlund@upn.se

www.upn.se

Denna rapport är gjord på uppdrag av Glava Energy Center, Arvika.
Projektet är en del i Interregprojektet FEM, se även projektets hemsida
www.femweb.nu .



Avbrottsfria Kraftnät UPN AB

Tel: 08-446 08 35,
Postadress: Vasavägen 35, 181 42 Lidingö

Säte: Lidingö

Org. nr: 556 567 – 0667

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
1 Skillnaden mellan AC och DC i distributionsnät och fastighetsnät med integrerade energilagrar	5
1.1 Fördelar med DC	5
1.1.1 Likström är en bättre produkt än växelström	5
1.1.2 DC i elanvändning ger 20 fördelar jämfört med AC	5
1.2 Nackdelar med DC (2 st)	8
2 Olika möjliga realiseringar av mikro-DC-nät i Glava Hillringsberg	10
2.1 Allmänt	10
2.2 Edison nät +/- 350 V DC med huvudspänning 700 V DC	11
2.3 400 V DC nät 1-fas	15
2.4 1500 V DC nät med AC/DC transformatorstationer enligt "Lappenranta"	15
2.5 Supraleddande kabelnät för DC	16
2.6 Stabilitet i elnät	16
2.7 Diskussion och utvärdering	17
3 Vattenkraftverk och pumpkraftverk som energilagrar	18
3.1 Allmänt	18
3.2 Energilagrar för dygnsutjämning - överslagsberäkning	18
3.3 Energilagrar för säsongsutjämning - överslagsberäkning	18
4 Fastighetsnät för 400 V DC enligt diskussioner inom IEC (International Electric Commission)	21
4.1 Allmänt	21
4.2 Apparat- och driftspänning på 350 V DC eller 380 V DC	22
5 Strömmatning av solcellfabrikens robotar med 350/700 V DC	24
6 Strömmatning av solcellfabrikens kyl- och ventilationssystem och cirkulationspumpar med 350/700 V DC	28
7 Strömmatning av mjölkkningsrobotar med 350/700 V DC	29
8 Förprojektering av nya kraftstationerna i Glava Hillringsberg	30
9 Förprojektering av distributionsnät i Glava Hillringsberg	32
9.1 Diskussion om förprojektering	32
9.2 Diskussion om nätanslutningar för in och utmatning längs efter nätet	33
9.3 Effektsammanställning, för Glava Hillringsberg DC-nät	33
9.4 Spänningsfallsberäkning	34
10 Förprojektering av fastighetsnät i solcellfabriken	36
10.1 Belysning	36
11 Referenser	38

Sammanfattning

Likström har inte längre de nackdelar som tidigare motiverade användning av växelström. I lokalnät och fastighetsinstallationer har likström numera en rad fördelar över växelström. Förändringen beror främst på att nästan alla elapparater har förändrat sin elektriska karaktär och till att i stora antal vara elektroniska. Nästan alla apparater har och kommer att få elektroniskt gränssnitt till elnätet. Brytningen av strömmen som tidigare var ett stort problem är inte längre avgörande. Med elektronisk last har det försvunnit, se ref video 1, Brytning av likström till elektronisk last.

Samtidigt kan konstateras att alla nya apparater i sin grundkonstruktion är likströmsapparater. De är dessutom i dagens utförande allströmsapparater som kan gå på både växelström och likström. I senare utföranden som enbart likströmsapparater kan de bli effektivare än dagens apparater. Denna förändring har drivits fram av elektronikens utveckling och önskan om högsta möjliga effektivitet i elanvändningen. På senare tid har en önskan om ökad och effektivast möjliga användning av nya lokala energikällor främst solceller drivit tankarna i riktning mot att åter börja använda likström.

Genom direkt användning av likström i generatorer lokalnät, fastighetsinstallationer och elapparater kan antalet omvandlingssteg och sammanhängande energiförluster minskas samtidigt som apparater och system kan förenklas. Allt sammantaget leder till lägre kostnader, större driftsäkerhet (störningsfrihet) och tillförlitlighet.

Elektrifieringen i världen inleddes med likströmmen. De första elnäten var likströmsnät och konstruerades av amerikanen Edison. Han uppfann glödlampan och byggde så kallade Edisonnät med +/- 110 V och senare 220 V spänning och nollströmsledare. Ett av de tidiga näten i Värmland byggdes i Granbergsdal norr om Karlskoga, se referenserna. Dessa nät blev och var majoritet och standard i världen ungefär fram till 2:a världskriget. Från mitten av 1900-talet och fram till nu har man byggt om till växelströmsnät.

Men önskan om en större användning av solenergi gör nu att likströmsnät av Edison typ får en ny aktualitet. Utredningen föreslår att ett likströmsnät med +/- 350 V spänning byggs i Hillringsberg. Nätet läggs parallellt med nuvarande växelströmsnät och kan på det sättet bilda ett industri och by nät som ett hybrid växelströms- och likströmsnät. Likströmsnätet dras in i alla fastigheter och bildar tillsammans med befintliga växelströmsnät hybridnät. Likströmsnätet kan mycket effektivt backas upp av batterier var som helst och gör att likströmsnätet blir avbrottsfritt. Om batterierna görs stora kan de också lagra sol för användning på kvällen och natten. Detta är emellertid dyrbart, men om batterier blir billigare är det en möjlighet. De flesta av dagens apparater och lampor kan anslutas till båda näten. Till exempel i en dataserver som har två standard nättaggagat kan det ena matas med växelström och det andra med likström. Det fungerar utmärkt.

Projektet har utrett om industrirobotar kan matas med likström. Enligt en av tillverkarna är det inte möjligt utan modifieringar av både hårdvara och mjukvara i deras så kallade drivdon och kontrollutrustning. Vår bedömning är dock att de erforderliga modifieringarna är begränsade. Denna tillverkare har varit väldigt korrekt och tillmötesgående och har på kort tid svarat på våra frågor. Ett projekt i samarbete med tillverkaren är dock nödvändigt. Den andra tillverkaren har inte velat svar på våra förfrågningar och anhållan om ett möte trots upprepade påstötningar.

Beträffande matning av asynkronmotorer för fläktar, pumpar och kompressorer är dessa av ett annat slag än i industrirobotar och är enklare att driva. Projektet har framgångsrikt provkört 1-fasmatade fläktmotorer med likström istället för växelström. Deras frekvensomriktare har matats dels på deras ingående så kallade mellanled och dels på deras växelströmsingång, se videoreferenser. Större frekvensomriktare för större

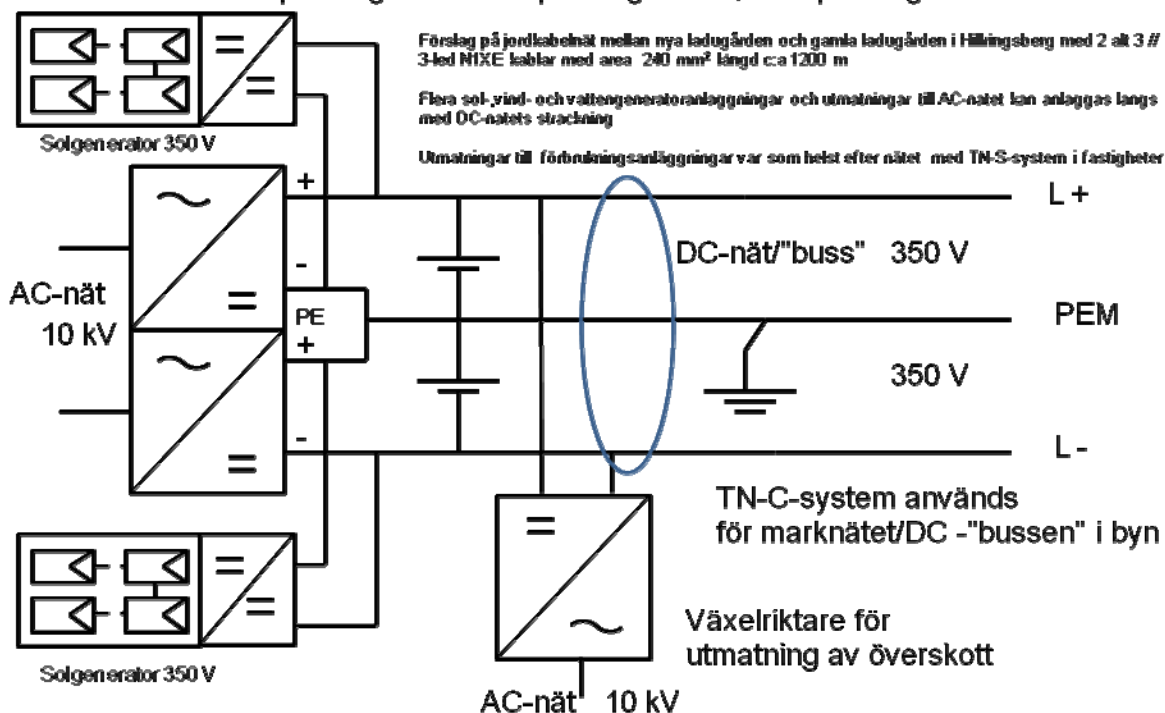
motorer för 3-fasanslutning kan likaledes matas i deras mellanspanningsled. Detta finns för det mesta utlagt på plintar på frekvensomriktaren och lätt att komma åt för anslutning av likspänning. Spännigen måste dock regleras ner till 560 - 600 V DC från 700 V-nivån i det föreslagna DC-nätet. Detta är dock ingen stor eller svår åtgärd. Sådan regulator är inte svår att åstadkomma.

Projektet har haft kontakt med en forskare på Philips i Holland. Denna person har visat stort intresse för detta projekt. Philips gör liknande studier och har teoretiskt analyserat införandet av likströmsnät i ett stort köpcentrum i Berlin. Där har man visat att utöver energibesparingar så kan c:a hälften eller mer av kabelmaterialet, koppararean i ledningarna för fastighetsinstallationen sparas in.

Om man bygger det föreslagna nätet i Hillringsberg kan det bli en plattform för flera forsknings- och utvecklingsprojekt inom området för användning av DC i eldistribution, mikro-grid och alternativ energi, både i Sverige och internationellt. Ett motsvarande DC-nätprojekt finns så vitt känt inte någon annanstans i världen.

DC-marknätet i Glava och huvudstationen vid nya ladugården

DC -nät konstruktionshuvudspänning 800 V, 2-fas +/- 400 V
Driftspänning för huvudspänning 700 V, fasspänning 350 V



Se även Elinstallationsreglerma –Utförande av elinstallationer för lågspänning SS436 40 00+R1 Utgåva 2 Del 3 3A.4 TN-system (DC)

1 Skillnaden mellan AC och DC i distributionsnät och fastighetsnät med integrerade energilagrar

1.1 Fördelar med DC

1.1.1 Likström är en bättre produkt än växelström

- Nästan all last till elnätet är redan eller blir i allt större utsträckning elektronisk, vilket beror på den allmänna teknikutvecklingen inom elektronikområdet och behovet av hög energieffektivitet i elanvändningen.
- Elnätet är inte konstruerat för elektronisk last, eftersom den inte fanns vid den tiden då elnätet byggdes.
- Brytning av ström till elektronisk last är inte förenat med ljusbågar och är numera likvärdig med brytning av växelström, se ref [video 1] Brytning av likström till elektronisk last. Detta beror på att all elektronisk last innehåller ett energilagrar i interna kondensatorer i apparaterna, som gör att det inte uppstår någon spänning över brytstället som kan starta en ljusbåge.
- Gränssnittet mellan elnät och last, dvs. i dagens lågspänningsdistribution med nätstationer, och elinstallationer i fastigheter är inte anpassad till modern elektronisk last, och är inte så effektivt, som det skulle kunna vara. Detta leder till onödigt dyr drift genom onödiga energiförluster, störningar, miljööproblem, övertoner, magnetfält, höga apparatkostnader, m.m.
- Nätstationer och lågspänningsdistributionen behöver moderniseras effektiviseras och anpassas till moderna förhållanden.
- Nästa alla moderna apparater är allströmsapparater och kan matas från både AC eller DC nät.
- Elapparater kan göras effektivare och billigare om de bara behövde ha DC/DC omvandlare i stället för AC/DC omvandlare i sina nätdelar.

1.1.2 DC i elanvändning ger 20 fördelar jämfört med AC.

DC ger/kan:

1. **Upp till 5-30 % högre energieffektivitet (eller besparing) jämfört med växelström beroende på applikation.** Beroende på vilka jämförelser som görs kan man komma till väldigt olika resultat. I en jämförelse mellan AC och DC för en datahall med kylsystem (i dagens standardutförande) kan man få kanske 30 %. Men i en villafastighet kanske bara 5 %. Emellertid - om man lägger till solceller i beräkningen kan man i villafastigheten komma väsentligt högre besparing genom soltillskottet. Det samma gäller för datahallen. Reduktionen av förluster och den högre verkningsgraden sammanhänger med den högre RMS spänningen och den proportionerligt lägre strömmen samt en högre verkningsgrad i kraftförsörjningskretsarna i alla apparater, som kan göras effektivare. Man kommer aldrig på minus och får alla övriga DC-fördelar.
2. **Lägre förbrukning av ledarmaterial som koppar och aluminium i distributionskablar och installationsledningar.** En utvärdering av AC- och DC-fastighetsnät har gjord av Philips i Holland, se ref [1]. Utvärderingen visar under förutsättning av samma normenliga spänningsfall av 5 % och termiska gränser så får man med DC, 37 % av AC koppararea vid jämförelse mellan 1-fas

230 V AC och 380 V DC, och 44 % av AC koppararea i motsvarande jämförelse mellan 3-fas 380 V AC och 2-fas 760 V DC, dvs. + - 380 V DC. Även om man inte fullt ut av praktiska skäl, kan minska användningen av ledarmaterial i så stor utsträckning, så uppnås reducering av de kontinuerliga energiförlusterna i distributionssystemen.

3. **Lägre förluster vid högspänningsanslutning(10 kV) av likriktarstationen och användning av icke isolerande likriktare sparar ett transformatorsteg vilket ger bättre total verkningsgrad.** Normalt har hittills används likriktare med isolation mellan primär och sekundär sida för lågspänningsmatning i DC-installationer i t.ex. i elnätets ställverk 220 V DC- eller telenätets 48 V DC-system. Då blir verkningsgraden i nätstationens lågspänningstransformator (0,98) i serie med likriktarens (0,95) totalt $0,98 \times 0,95 = 0,93$ %. Här uppstår en dubbling av isolering. En blir onödig och kan tas bort om man gör likriktarna icke isolerande (0,97) och sätter dessa direkt på nätstationens 10 kV anslutna transformator (0,98). Då uppstår en 10 kV AC 400 V DC nätstation och sekundärsidans jordning kan göras på DC -sidan. Verkningsgraden blir totalt $0,98 \times 0,97 = 0,95$ %.
4. **Filterrar dippar och korta elavbrott även utan batteribackup med hjälp av likriktarens kondensatorer och PFC-teknik (PFC=Power Factor Correction).** I ett normalt AC nät särskilt på landsbygden förekommer i genomsnitt c:a 20 ggr per år spänningsdippar med varaktighet av 100 - 200 ms och varierande spänningssänkning (underspänningar), se ref [2]. Dessa beror på elnätets skyddsomkopplingar, oftast i samband med åska, men kan bero på andra händelser i elnätet. Spridningen av dipparna sker över mycket stora avstånd i hela elnätet. Likriktarnas inbyggda energilagring i dess switchkondensatorer ger en överbryggningsfunktion som är tillräcklig för att ta bort störningen på DC sidan från de flesta förekommande dipparna. Om batterier används i systemet, vilket rekommenderas kommer dippar eller underspänningar från AC-matningen helt att elimineras och aldrig skapa problem i t.ex. en industrirobot eller industriprocess.
5. **Skydd mot transienta överspänningar från bl.a. åska.** På samma sätt som i samband med dippar skyddas likriktare och batterier mot transienta överspänningar. Transformatorn i anläggningen bör förses med transientskydd.
6. **Inga övertoner till elnätet.** Likriktarna drar sinusström från matande elnät. Likriktarnätstationen (10 kV AC /400 V DC) förses med teknik som tar bort det mesta av övertonerna från likriktningen genom PFC teknik.
7. **Leverera konstant spänning när AC-nätmatningen är inkopplad.** Likriktarna kan reglera det matande AC-nätets både över- och underspänning. Detta sker genom PFC-tekniken. DC-nätets spänning vid normal drift blir mycket konstant och beror inte på spänningssänkningar i överliggande nät. Spänningsvariationer i lastpunkterna beror endast på spänningsfall i ledningarna vid laständringar efter likriktare och batterier. Om batterier kommer att användas för dygnsutjämning i syfte att spara energi och använda solen på kvällar och nätter, kommer spänningen att sjunka beroende på den tillåtna urladdningsgraden i batterierna. Men de flesta elektroniska apparater kan hantera de stora spänningsvariationer som normalt förekommer vid batteriurladdningar.
8. **Leverera flimmerfri spänning.** DC-spänningen kommer att vara mera konstant än AC spänning pga. av redovisningen ovan. Flimmer uppkommer av hastigt varierande spänning till glödlampor. Flimmer blir inte längre ett stort problem, eftersom glödlampsbelysning är på väg att förbjudas.

9. **Leverera bullerfri el.** DC-spänningen har noll frekvens och kan inte sätta armaturer eller apparater i vibrationer. AC-spänningen har 50 Hz frekvens och i många installationer och apparater, lågenergi lampor eller lysrör, orsakas 50 Hz vibrationer, som i varierande grad, är upphov till ett brumljud eller mer eller mindre starkt buller. Även om bullret inte är högt finns det där ständigt, mer eller mindre hörbart och skapar en dold stress, som påverkar olika människor olika mycket.
10. **Minska läckströmmar och vagabonderande strömmar utanför nolledare i fastighetssystem för värme, vatten och avlopp samt byggnadsstommar.** Dessa strömmar till fastighetsstommar, rörinstallationer och fjärrvärmerör orsakar att jordfelsbrytare och säkringar kan lösa ut oförklarligt. Minskningen beror på att inga övertoner förekommer och att hf-strömmar genom filterkondensatorer kan minskas.
11. **Minska risken för oönskade magnetfält.** Magnet fält i byggnader uppkommer genom att det går strömmar i främst i olika rörsystem enligt beskrivningen i 10. Om dessa strömmar försvinner så minskar risken för magnetfält i byggnaderna.
12. **Leverera EMF-fri el – "(Kanske Hälsoel)".** Elektromagnetiska fält kan vara fält med både låg och hög frekvens. För att dessa ska minskas använder man kondensatorer i apparater. Vid användning av likström är det mycket lättare att filtrera och dämpa dessa fält vid sin källa.
13. **Minska krav på överföring av reaktiv effekt.** Växelströmsnätet måste idag överföra så kallad reaktiv effekt. Denna effekt är onyttig men kräver "utrymme" i elnätet. Större elkunder blir tvungna att betala för den reaktiva effekt som uppstår. Hushållskunder är befriade från att betala för reaktiv effekt. Men elnätsägare måste ibland installera utrustning för att kompensera för reaktiv effekt i elnätet och kostnader för detta hamnar ändå hos kunderna som nätavgift. För att uppnå den mest effektiva och problemfria driften av AC-nät så bör man belasta det med en last som har så nära resistiv karaktär ($\cos\phi=1$) som möjligt. Detta görs med så kallad PFC-teknik i den elektroniska lasten (även andra metoder finns). PFC-teknik bör alltså användas i de små och stora likriktarstationerna. Då minskar man fasförskjutningen och övertonströmmarna som ger upphov till reaktiv effekt i elnätet. Då kan det matande AC-nätet klara de mindre mängder reaktiv effekt som ändå uppstår utan speciella åtgärder.
14. **Avbrottsfri drift med batteribackup och med kundanpassad batterireservtid.** I ett DC-nät där det finns en så kallad "DC-buss" kan man parallellt ansluta batterier var som helst. Dock med vissa skyddsåtgärder. Då uppstår en så kallad UPS-funktion för kritiska laster vid ström avbrott, Denna UPS-funktion är väsentligt enklare och billigare än dagens AC UPS.
15. **Lokal leverans av toppeffekt från lokala batterier, vilket gör att elnätet kan dimensioneras för medeleffekten och inte för kortvariga och sällan förekommande toppeffekter.** Ju närmare ett batteri placeras en stor toppeffektlast desto bättre är det ur denna aspekt. Ett exempel för en villa eller en lägenhet med 20 A säkring
- | | | |
|-------------------------|------|------------------------------|
| a. Spis/Ugn | | 5 kW |
| b. Mikrovågsugn | | 1 kW |
| c. Diskmaskin | | 2 kW |
| d. Dammsugare | | 2 kW |
| e. Tvättmaskin | | 2 kW |
| f. TV, dator, belysning | | <u>1 kW</u> |
| Summa: | c: a | <u>13 kW toppeffektbehov</u> |

- g. Allt ska kunna vara på samtidigt annars går säkringen. Om ett batteri fanns i villans källare skulle toppeffekten kunna tas från batteriet till t.ex. spisen.
- h. Ett större normalhushåll förbrukar, antag c:a 6 000 kWh för hushållsel per år. Detta är 500 kWh per månad ($6000/12=500$) och medeleffekten är $500(\text{kWh})/30 \times 24(\text{h})=0,7 \text{ kW}$ dvs. 3 A medelström vid 230 V AC ($3 \times 230=690\text{W}$)
- i. Kabelnät för distribution till elkunder med batterilager kan dimensioneras för väsentligt lägre toppeffekt än vad som för närvarande praktiserats.

16. **Integrera solceller enkelt och högeffektivt i stor och liten skala.** Regulatorer för solceller behöver inte vara växelriktare och får därmed högre verkningsgrad, eftersom DC/DC-omvandlare är enklare konstruktioner. Solcell anläggningar kan enkelt skalas upp genom enkel parallellkoppling till ett batteri och elnät. Solcellmatade DC-nät kan automatiskt drivas i så kallade ö-drift och kan utan problem fortsätta att leverera ström vid nätavbrott, vilket solcell matade AC-nät med så kallade nätkommuterade växelriktare inte kan.
17. **Lättare hanteringen av snabba spänningsvariationer vid snabba soleffektändringar.** Batterier i systemet kan utjämna snabba effektinmatningar och ge en stabilare spänning vid överskott på solenergi.
18. **Minskade krav på det allmänna AC elnätet i de flesta avseenden.** Främst gäller detta spänningshållningen och andra elkvalitetsfaktorer.
19. **Uppbackning av IP-telefoni och Internetkommunikation vid strömavbrott.** Denna plusfaktor är inte direkt förknippad med skillnaden mellan egenskaper i mellan AC-nät och DC nät utan är en plusfaktor som hänger samman med förändringen av telenätet och den tekniska utvecklingen där. Den hänger dock ihop med möjligheten att enkelt koppla in reservbatterier. Telenätets gamla analoga telefoni håller på att avvecklas, och kommer att ersättas av så kallad IP-telefoni eller Internettelefoni där PC datorer och mobila smarttelefoner tar över den gamla telefonens roll. Den gamla telefonen har en integrerad nödtelefonfunktion som består av det analoga telefonsystemets så kallade centralbatteri som gör att telefonen fungerar även vid mycket långa strömavbrott (kanske 12 timmar). Det nya telefonsystemet är uppbyggt av en rad elnätmatade switchar och routrar och radiosändare i fastigheterna och något centralt batteri finns inte i systemet. Vid strömavbrott upphör därför det nya telefonsystemet att fungera. Detta är inte bra ur ett samhällsperspektiv, eftersom det är just i t.ex. ett elavbrottssammanhang, som det är viktigt för säkerheten i samhället att telefonin fungerar. På detta sätt bidrar en ökande användning av DC till en ökad säkerhet i samhället.
20. **Minska samhällets sårbarhet.** Belysning, tele- och datakommunikation och Internettrafik kan lättare vidmakthållas vid elavbrott i det matande AC-nätet. Så kallad ö-drift med lokal energiproduktion kan lättare arrangeras. Detta minskar generellt samhällets sårbarhet vid olika kriser, och kan göra det uthålligare

1.2 Nackdelar med DC (2 st)

- **Likspänning (DC) har ingen nollgenomgång och automatisk ljusbågssläckning som växelspänning (AC) har.** Detta kan vara en orsak till högre brandrisk. Emellertid finns problemet med ljusbågar även med AC. I USA är det numera krav på så kallad ljusbågsdetektering och bortkoppling av el för installationer i sovrum på liknande vis som vi i Europa har jordfelsövervakning och bortbrytning av el i våtrum, kök och badrum. Jordfelsövervakning och bortbrytning är numera krav vid nybyggnation och ombyggnad för alla

elinstallationer i lokaler för så kallat allmänt bruk. På flygplan med omfattande DC-nät har man ljusbågdetektering införd och i drift sedan länge. I fastighetsinstallationer kan det både i AC- och DC-system förekomma lösa förbindningar i kopplingsboxar och elcentraler. I båda fallen kan ljusbågar vara problem och orsaka brand eller störningar. Produkter för att hantera problem med ljusbågar finns redan och utvecklas på många håll, främst för installation av solcellsystem. Standarder med avseende på ljusbågskydd för solcellanläggningar utvecklas inom IEC efter ett antal större bränder i solcellsystem. Produkter för installation i provanläggningar såsom i Glava finns tillgängliga.

- **Brytförmågan i standardsäkringar och standard automatbrytare är lägre än för AC.** (Detta är egentligen en följd av att DC inte har någon nollgenomgång). Kortslutningseffekten i DC system måste därför väljas lägre i jämförelse med AC. T.ex. bör man inte anlägga alltför stora batteribankar. Stora batterier ger stora kortslutningsströmmar, och dessa får inte vara större än vad säkringarna kan bryta. Det är också bra av säkerhetsskäl vid olyckshändelser att inte ha alltför stora energilager koncentrerade till en enda punkt. Eftersom det är lätt att parallellkoppla och ansluta batterier till likströmssystem bör dessa i stället spridas ut i systemet. Detta är också helt i linje med fördelen med toppeffektutjämning så nära lasten som möjligt enligt punkt 15 i fördelsavsnittet. Här handlar det om att man vid systemering, dimensionerings- och konstruktionsberäkningar tänker på denna skillnad mellan DC och AC. Detta är inget problem i praktiken, eftersom kortslutningseffekterna i normala anläggningar inte är begränsande för dimensionering och konstruktion av DC-nät. Kostnadsfördelar för stora batterier är begränsade om alla kostnader för hantering av tunga enheter etc. räknas in. Stora batterier är inte alltid billigare per A-timme i inköp än mindre batterier.

2 Olika möjliga realiseringar av mikro-DC-nät i Glava Hillringsberg

2.1 Allmänt

Beträffande sol- och vindkraft är dessa energislag naturligt redan distribuerade. Produktion och konsumtion kan och bör därför vara så nära varandra som möjligt. Lokaliseringen av deras generatorer bör alltså vara nära de största förbrukningsställena, där det är praktiska och rationellt. Det finns inget skäl att överföra el från dessa generatorer över långa avstånd såsom fallet är från t.ex. vattenkraft, där vattenfallet inte låter sig flyttas. Distribution genom elnät av sol- och vindkraft medför bara onödiga kostnader för anläggning av elnät, onödiga energiförluster och driftkostnader. På samma sätt bör energilager inte centraliseras utan spridas och förläggas så nära de största toppeffektlasterna som möjligt, för att lokalt kunna leverera toppeffekt. Batterierna bör dedicerats till respektive fastighet eller kritisk last som behöver avbrottsfri drift t.ex. data centraler, industriprocesser och kommunikationsutrustning, viktiga datorer, eller apparater med stor kortvarig toppeffekt som t.ex. spisar i hushåll. Dediceringen kan ske med back-dioder så att batteriet bara kan leverera ström till sin respektive kritiska last. Detta medger då att elnätet som ska sammanlänka och distribuera el i t.ex. ett samhälle inte behöver dimensioneras för extrema toppeffektlaster utan mera mot distribution av medeleffekter för att verka utjämnande vid olika belastningssituationer. I fallet med ett DC-nät i Glava finns goda förutsättningar att tillämpa detta synsätt i praktiken.

Den planerade nya ladugården med sin stora solgenerator på taket ligger i ena änden av det planerade nätet och kan förbruka en stor del av den där producerad solenergin. I närheten finns 10 kV elnätsanslutning och möjlighet att på kort avstånd mata ut solelöverskottet till 10 kV AC-nätet. Till denna plats bör också ett mindre energi(batteri)lager lokaliseras.

Längs det tänkta nätet i närheten av dess mitt finns redan en solelgenerator som ska byggas ut till en tredjedel av den effekt, som planeras för den nya ladugården. Denna solelgenerator ligger i tät anslutning till solcellfabriken. Här planeras även ett vindkraftverk. Dessa sol- och vindgeneratorers elproduktion kan förbrukas i solcellfabriken. Eventuellt behöver solcellfabriken ytterligare tillskott och det kan tas från den större solcellanläggningen vid ladugården genom DC-nätet. I solcellfabriken borde ett batterilager lokaliseras för att utjämna toppeffekter vid driften i fabriken och ge kritiska processdelar avbrottsfri försörjning.

I den bortre ändan av nätet ligger herrgården och dess konferensanläggning samt den gamla ladugården med bondgårdens bostadshus. Dessutom finns ett antal bostadshus och diverse fasigheter i närheten av dammen. Där planeras ett mindre vattenkraftverk att åter sättas drift. Vatten/pump/kraftverket skulle också kunna användas för inmatning till DC-nätet. Kraftverket skulle då kunna användas för att nattetid leverera el då solgeneratorerna inte levererar el om det gick att använda dammen som ett dygnsutjämnade energilager. Ett mindre batterilager bör lokaliseras i herrgården och i bostadsfastigheterna. Det borde gå att sätta solceller på några av taken på fastigheterna i denna del av samhället t.ex. den gamla ladugårdens tak och på det sättet balansera så att solel kunde produceras även i denna del av nätet.

Genom att sprida inmatningen till DC-nätet utefter dess sträckning behöver nätet inte dimensioneras på samma sätt som ett radialnät där sällan förekommande toppeffekter ska kunna överföras hela sträckan. Inmätningen till DC-nätet med likriktare från AC-nätet torde med fördel kunna göras på flera ställen, Helst vid solcellanläggningarna eller i fabriken eller där det är lämpligt med hänsyn till AC-nätets dragning. Likaså kan

överskott från sol-, vind- och vattenkraften matas ut på flera ställen till AC nätet. Av denna anledning bör DC-nätet betraktas som en DC-nät/"buss" och inte ett radialnät för utmatning av i el från en enda inmatningspunkt till olika förbrukningsställen.

Dimensioneringsberäkningen av DC-nätet/bussen torde kunna göras med inriktning mot en fördelningsmedeleffekt istället för mot topp effekt. Hänsyn måste tas till naturliga variationer i sol, vind och vattenkrafttillförseln och variationer i behoven i belastningsdriften - dag och natt, - hög och låg produktion i solcellfabriken samt felfall etc..

I diskussionen om användning av DC och jämförelsen med AC bör man tänka på att använda DC där fördelar finns över AC och AC där fördelar finns över DC och vara öppen för att använda båda i så kallade hybridsystem. Särskilt i befintliga anläggningar kan det medföra stora kostnader att gå över helt till DC, eftersom alla apparater och utrustning är gjorda för AC. Men där det är enkelt och där det innebär fördelar till exempel genom bättre energieffektivitet eller genom att störningar i kritiska/robotprocesser kan minskas bör en övergång till DC göras. Så t.ex. bör högeffekts värmeelement i solcellfabrikens laminatorer matas med befintlig AC, eftersom dessa inte kan störas av dippstörningar och korta elavbrott. Men datorsystem och styrsystem för robotarna, som inte kan tåla korta avbrott, utan att falla ur sina program vid störningar, bör matas med DC. Effektbehoven för känsliga dator- och styrsystemen är för det mesta mindre än för värmesystem. Parallella fastighetsnät (så kallade hybridnät) ett för DC och ett för AC är tekniskt och elsäkerhetsmässigt helt acceptabelt. Det handlar mest om tydlig märkning och utbildning av elektriker för att förhållandet ska vara säkert och hanterbart.

Genom att bygga nya elnät och använda befintliga nät på detta nya sätt, kan så kallad "premiumel" för verksamhetskritiska behov skapas. Ett DC-nät bör byggas så att det är ett självständigt mikrogrid, som vid större elavbrott automatiskt kan gå i så kallad ö-drift och med begränsad effekt leverera el till prioriterade och känsliga laster. Eventuellt kan reservkraftverk inkluderas om sådana behov finns. Premiumel måste kunna prissättas högre än t.ex. hushållsel för okritiska behov om det skulle tillhandahållas av ett elnätbolag.

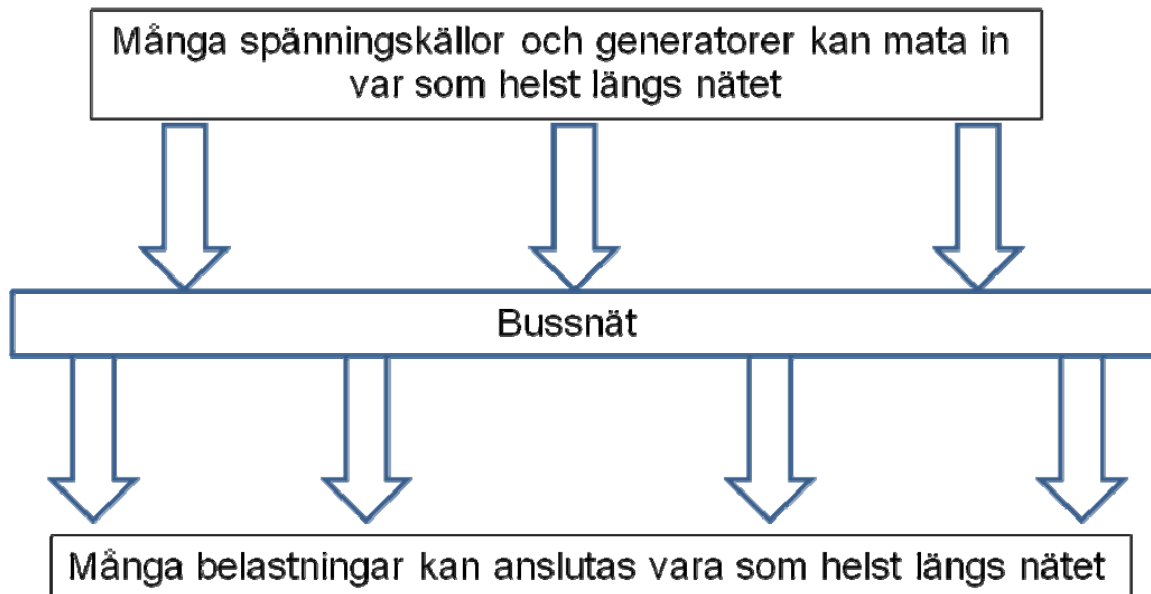
2.2 Edison nät +/- 350 V DC med huvudspänning 700 V DC

DC-system vara standardsystem för eldistribution i alla världens länder innan växelströmmen infördes. Man använde Edisons 2-fas distributionssystem med nolledare med spänningen +/- 220 V DC. Se exempel i offert från ASEA till gården Granbergsdal norr om Karlskoga år 1905, undertecknat av ASEA:s mångåriga VD Sigfrid Edström. Offerten gäller en elkraftledning om 2x220 V för likström från kraftstationen i Sågfallet till gården för drift av elmotorer, se ref 13. Se även regeringsbeslut år 1906 om tillstånd för en sådan anläggning undertecknat i konselj av Kronprins Gustav, sedermera Gustav V, se ref 14-15. De sista systemen av denna typ stängdes i Stockholm c.a 1970, och det sista DC-nätet i New York stängdes ner så sent som 16 november 2007.

Inom eldistribution är det väsentligt att använda så enkel, robust och störningsokänslig teknik som möjligt för att få hög tillförlitlighet och låga underhållskostnader. Edisonsystemet möter dessa krav och kan i en moderniserad form få en renässans.

Det är nu högtintressant att studera och prova detta system igen i praktiken med konstruktionsspänningsnivån +/-400 V i samband med så kallad mikrogridutveckling med lokala generatorer. Det medger att utan särskild utrustning hantera dubbelriktade energiflöden och vara så kallat bidirektionellt. Det innebär att man direkt till nätet kan koppla både generatorer, batterilager och belastning. Ett sådant nät kan också kallas ett bussnät.

Bussnätprincipen



Detta kan spara mycket energi, ge bättre elkvalitet och tillförlitlighet samt spara kabelkostnader i jämförelse med t.ex. ett 3-fas AC system, se ref [1]. Konstruktionsspänningsnivån 400 volt är anpassad till den spänning som all elektronisk last kan använd med högsta energieffektivitet. Den spänningen finns som så kallad mellanledningsspanning inne i alla elektroniska apparaters nätdelar. Driftspänningen sätts lägre. I Glavanätet föreslås +/- 350 V och huvudspänningen 700 V.

De problem man hade med Edisonsystemet på sin tid, sammanhänger främst med brytning av strömmen. Detta har med modern teknik fått sin lösning i och med kraftelektronikens införande. Brytningen av strömmen har blivit nästan problemfri. Halvledartekniken i allmänhet kommer att ytterligare förbättra möjligheterna att utnyttja DC-systemets fördelar genom möjligheten att utveckla nya produkter som höjer säkerheten. Dagen isolermaterial möjliggör att man kan gå upp högre i spänning jämfört med tidigare utan att öka riskerna och därmed få bättre energieffektivitet. Visioner inom bl.a. Philips och andra företag säger att man kommer att ersätta mekaniska strömbrytare med halvledarbrytare och touch-kontroll i vanliga elinstallationer, som ett exempel på nya produkter.

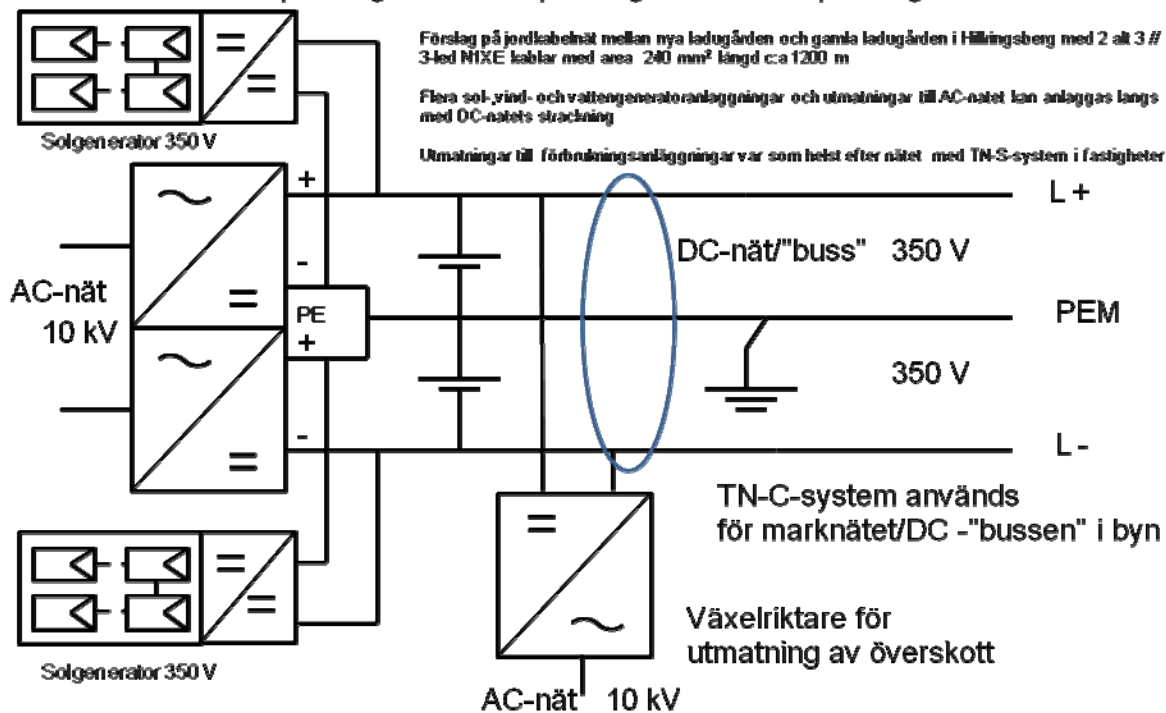
Systemet har inga transformeringsförluster eller kylningsförluster som t.ex. i ett system för högre systemspänning, se ref [3] eller i ett supraledande system, där kontinuerligt gående kylkompressorer behövs. Det blir därför mycket enkelt, driftsäkert och effektivt i jämförelse med dessa. Vid den effektnivå som diskuteras i detta projekt blir systemet den optimala lösningen.

Systemet är mycket enkelt i sin uppbyggnad. Huvudschemat framgår av schema ritningen 1.

DC-marknätet i Glava och huvudstationen vid nya ladugården

DC-nät konstruktionshuvudspänning 800 V, 2-fas +/- 400 V

Driftspänning för huvudspänning 700 V, fasspänning 350 V



Se även Elinstallationsreglerna – Utförande av elinstallationer för lågspänning SS436 40 00+R1 Utgåva 2 Del 3 3A.4 TN-system (DC)

Schemaritning 1

Längs med ledningsbussen kan uttagsboxar med avsäkring till belastningsobjektens ställverk och elcentraler anläggas vara som helst. Likriktare och solcellgeneratorer kan likaledes kopplas in var som helst efter ledningen. Alla generatorerna har konstant utspänning intrimmad och levererar effekt efter aktuellt behov. Effekt som kan levereras därutöver matas in till batterierna eller ut på AC-nätet. Spänningen på DC-bussen kan variera mellan 300 V – 350 V fasspänning och 600 V – 700 V huvudspänning.

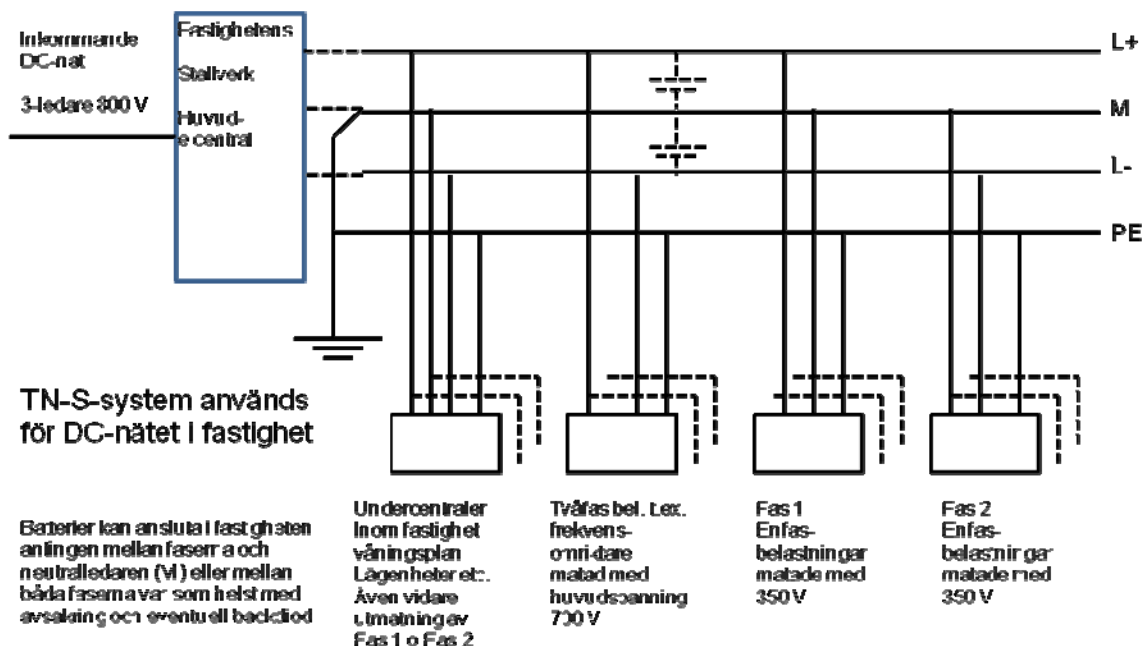
Inne i fastigheterna installeras 2-fas fastighetsnät enligt schemaritning 2, eller 1-fas nät enligt schemaritning 3.

Beträffande den föreslagna systemlösningen och relevanta IEC-standarder se även ref [21] *Safety_and_Interoperability_of_DC_Power_Grid_Systems*, med förteckning över IEC-standarder. Detta preliminära dokument framhåller samma systemlösning som UPN gör. (Tillförs denna utredning efter samråd med dess författare).

Fastighetsnät i nya ladugården och solcellfabriken etc.

DC-nät konstruktionshuvudspänning 800 V, 2-fas +/- 400 V.

Driftspänning för huvudspänning 700 V, fasspänning 350 V



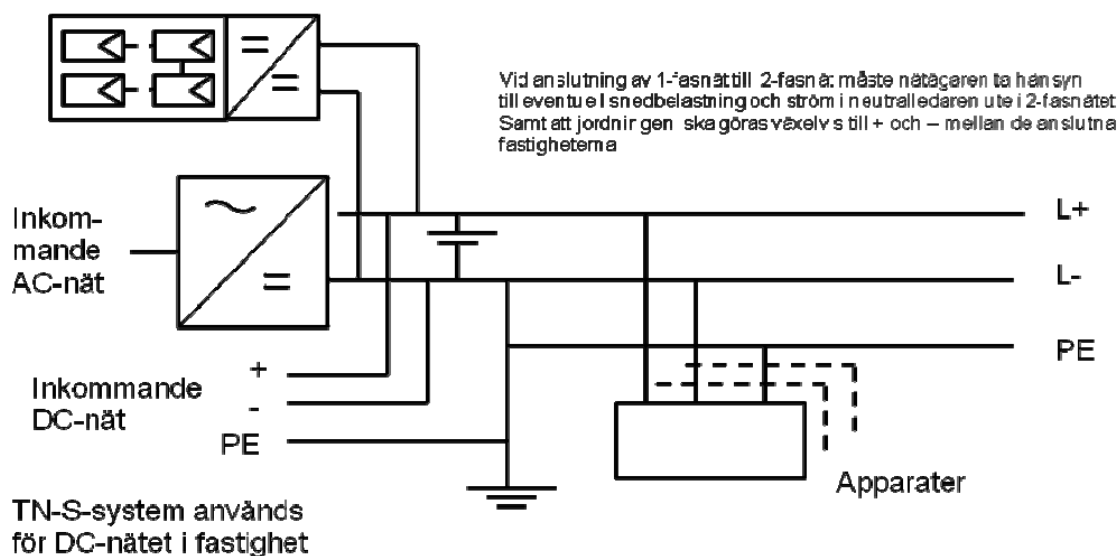
Se även Elinstallationsreglerna – Utörande av elinstallationer för lågspänning SS4364000-R1 Utgåva 2 Del 3 3A.4 TN-system (DC)

Schemaritning 2

I mindre fastigheter kan man om man vill "bara" dra in en 400 V gren av nätet enligt schemaritning 3. Men i detta sammanhang måste nätägaren beakta och ta hänsyn till eventuella snedbelastningar i det 2-fasiga huvudnätets neutral och mittledare. Dessutom måste nätägaren hålla kontroll över att jordningen i fastigheterna jämnt växlas mellan plus och minus. Annars kommer inte utjämningen längs huvudledningen att uppstå. Detta kan bli en administrativ svårighet och säkerhetsrisk. Det kan därför övervägas att till alla fastigheter dra in huvudspänningen till fastighetens elcentral och inne i fastigheterna fördela lasterna så jämnt som möjligt för att uppnå en önskad fördelning så att noll ström i neutralledaren kan uppnås så tidigt som möjligt. Problemet flyttas då till fastigheten där polaritetskontrollen måste förekomma vid installationen. Alla ledningar är färgmarkerade och uttagen är "nycklade" för rätt polaritet

Fastighetsnät i mindre fastighet

DC-nät konstruktionshuvudspänning 400 V, 1-fas .
Driftspänning för fasspänning 350 V



Se även Elinstallationsreglerna – Utförande av elinstallationer för lågspänning SS436 4000+R1 Utgåva 2 Del 3 312.42.4 TN-S (DC)

Schemaritning 3

2.3 400 V DC nät 1-fas

Ett "1-fas" 400 V DC nät kan inte realiseraras som ett bynät med 1,2 km total längd och med den effekt som behövs i Glava-Hillringsberg. Den elektriska räckvidden i ett sådant ett sådant nät för de aktuella effekterna kan i praktiken bara vara c:a 400-500 meter.

Men ett 400 V DC nät är naturligt den 1-fasiga delen inne fastigheter till ett "2-fasigt" DC nät och är dess naturliga undernät på samma sätt som 1-fas AC är det i 3-fasiga nät.

2.4 1500 V DC nät med AC/DC transformatorstationer enligt "Lappenranta"

Detta system beskrivs i referenserna [5],[6] och [7] samt i [3]. Det framförs att AC/DC transformatorstationer och DC/AC invertrar skulle kunna komma till 98% verkningsgrad, och att man idag har uppnått 95% verkningsgrad. Defakto-verkningsgrad för likriktare och DC/DC-omvandlare med inbyggd isolering med en hf-transformator är 95-96 % i bästa driftläge. Det är mycket svårt och dyrbart att komma högre och att nå 98% verkningsgrad med transformatorisolering och halvledare på båda sidor i DC/DC-omvandlaren bedöms vara mycket svårt. Artikel Ref [3] säger att även om förlusterna i DC/DC-omvandlarna kan halveras jämfört med dagens teknik så blir förlusterna större än i ett traditionellt eldistributionssystem. De bästa vanliga transformatorerna har c:a 98% verkningsgrad.

En sammanfattning efter snabb genomläsning är att förlusterna i de skissade hf DC/DC omvandlarna i dagens läge ligger på minst c:a 5% i sina bästa driftlägen. Detta stämmer med vad den bästa tekniken för DC/DC omvandling kan ge. För likriktning kan man komma högre om man kan använda dyra komponenter t.ex. transistorer och dioder i

kiselkarbid och amorft material för transformatorerna. I verklig drift kommer man under den mesta tiden i systemet bara att ha belastningar långt under topp effekt där bästa verkningsgraden inträffar. Med bara partiell last i omvandlarna faller verkningsgraderna under den bästa och kommer att ligga på kanske 90- 93 %.

Utan att ha gjort någon LCC-kalkyl och jämförelse med ett bipolärt 700 V system för ett bynät liknande det som är aktuellt för Hillringsberg kan det förmodas att systemet sammantaget blir dyrare. För överföring i ett mera klassiskt eldistributionssammanhang och med längre avstånd kanske systemet är konkurrenskraftigt. Men där ska jämförelsen göras med tillgänglig AC-teknik på olika spänningsnivåer.

Frågan är om systemet inte är onödigt komplicerat med sin högre spänning, som kräver aktiv elektronik, som dessutom hela tiden kommer att generera förluster. Det blir också mycket sårbart och känsligt vid åsknedslag och eller åsköverspänningar från långt håll. Motivet för satsningen i Lappenranta är mest sannolikt problemet med spänningshållning på långa landsortsledningar. Men om man istället använde likström i fastigheterna för spänningkänsliga laster, skulle man lösa problemet billigast med små konstantspänningslikriktare i varje fastighet. Ett litet batteri skulle kunna leverera topp effekten. Elvärmeelement som inte är särskilt spänningkänsliga skulle kunna ligga kvar på växelströmmen.

Lappenrantasystemet är ett högteknologiskt spår som kan ifrågasättas i ett infrastruktur system, som måste vara mycket robust och driftsäkert samt mycket enkelt att underhålla.

Det viktigaste för praktiskt bruk i Glava är att välja ett system, som lämpar sig för att höja driftsäkerheten i en processindustri som t.ex. solcellfabriken i Hillringsberg.

Lappenrantasystemet bedöms dyrt, sårbart och inte robust för denna tillämpning. Rekommenderas inte för prov i Hillringsberg.

2.5 Supraledande kabelnät för DC

Det kastades fram i de inledande diskussionerna till projektet att - kanske kunde supraledning vara något att prova. En supraledande kabel har inte något nämnvärt spänningsfall och kan i detta projekt med lågspänning vara oberoende av vald spänningsnivån. Man skulle kunna bygga ett system för 400 V "1-fas".

Emellertid är de produkter som finns i prototypstadium gjorda för väsentligt högre effekter och strömmar än som förekommer i Hillringsberg. Det kringssystem för kylning av ledningen, som erfordras, kräver också relativt hög effekt. Det är ett högteknologiskt system med kringssystem för driften, som kan bli sårbart och inte driftsäkert.

Målet med projektet i Hillringsberg är att försöka höja tillgängligheten i elleveranserna och minska störningarna i solcellfabrikens processer.

Supraledning rekommenderas inte för projektet i Glava/Hillringsberg.

2.6 Stabilitet i elnät

Det har på senare år har det i elkvalitetssammanhang diskuterats om förutsättningarna för stabiliteten dvs. spänningshållningen i AC-elnäten förändras i och med den ökande användningen av elektronisk last. Teoretiskt finns en risk för så kallad självsvängning eller resonans mellan nät och last om den elektroniska lasten blir dominant. Fenomenet kan uppstå lika mycket i växelströmsnät som i likströmsnät. Den PFC-elektroniska lasten har egenskapen att dra konstant effekt oavsett spänning, dvs. den drar högre ström när spänningen sjunker. Spänningen skulle därvid i självsvängande snabba förlopp kunna bli alldeles för hög och skada apparaterna. I den tidigare dominanta icke elektroniska lasten sjunker effekten och strömmen sjunker när spänningen sjunker vilket ger stabilitet i

systemet och spänningshållningen. Se ref [10], [11] och [12]. Detta förhållande är grundprincipen för stabiliteten i AC-nätet.

Resonans kan förekomma i LC kretsar. Nätet representerar ett L (induktans) och elektroniska apparater representerar ett C (kapacitans). Det gäller att tillse att L och C i nät- och lastvärdena inte kan bli avstämda för resonans. Induktansen i nätet har man god kontroll över, men man inte kontroll över hur stor kapacitans som kan förekomma i lasten.

Enligt Torbjörn Thiringer på Chalmers [12] så har man inte ännu sett några problem i Sverige även om det diskuteras i Finland. En kontrollberäkning borde göras i samband med detaljprojekteringen av nätet för Hillringsberg. Dessutom skulle ett provokationstest vara intressant att göra innan systemet tas i drift för att se hur nätet uppför sig m.a.p. resonans i verkligheten med olika experimentlasten.

2.7 Diskussion och utvärdering

Förutsättning för diskussionen är att förbättra driftsäkerheten och tillgängligheten i elleveransen samt på det effektivaste sättet ansluta lokal alternativ elproduktion inom de avstånd som förekommer i området. Supraledande kabelnät för DC och 1-fas 400 V DC nät kan avföras från diskussionen som systemval för ett industri- och bynät-mikrogrid i Hillringsberg med den förutsättningen.

Valet att förorda ett 2-fas så kallat Edisonnät motiveras i jämförelse med ett 1500 V DC nät enligt Lappenranta av:

1. Ett Edisonnät är helt passiv teknik. Inga aktiva komponenter som DC/DC omvandlare för att reducera spänningen behövs. Detta innebär bättre tillförlitlighet, låga förluster och lägre underhållskostnader.
2. I ett industri- och bynät-mikrogrid med en diameter om c:a 2 km är det sannolikt effektivare, driftsäkrare och billigare att använda Edisonnät än att använda Lappenrantanät.
3. Vid större nätdiameter, längre avstånd än 2 km bedöms det inte möjligt att använda Edisonsystemet, därför att spänningsfall och kabelkostnaderna blir för stora. Så länge som det är ekonomiskt överkomligt att ersätta DC/DC-omvandlare som är aktiv teknik med passiv teknik såsom med kabelarea bör man göra det av tillförlitlighets- och underhållsskäl. Så kallade industri- och bynät-mikrogrid i stjärna har sällan större utsträckning än c:a 2 km i diameter. Därefter torde det vara praktiskt att bygga nya "celler" med nya inmatningspunkter från högspänning. Solcellsinmatningen borde spridas över ytan på lämpliga ställen – läs på hustak i området.
4. Ett Lappenrantanät bedöms vara ett utpräglat glesbygdsnät för eldistribution medan ett Edisonnät bedöms vara ett mikronät för tätare bebyggelse.

Om man bygger det här föreslagna nätet i Hillringsberg kan det bli en plattform för flera forsknings- och utvecklingsprojekt inom området för användning av DC i eldistribution, mikro-grid och alternativ energi. Ett motsvarande DC-nät-projekt finns så vitt känt inte någon annan stans i världen.

3 Vattenkraftverk och pumpkraftverk som energilager

3.1 Allmänt

Den största svårigheten med ekonomiskt utnyttjande av alternativ energi är den stora och slumpmässiga variationen av förkommande effekt i sol- och vindkraft. Förbrukningen varierar inte i lika stor utsträckning. För att få god ekonomi i samband alternativ energi är det ett starkt önskemålet att hitta billig och effektiv lagring av stora överskott från sol- och vindenergin.

I Glava vid Hillringsberg finns en stor möjlighet att anordna ett energilager genom vattenlagring. Överskotten från sol- och vindkraftverken kan lagras i vattenmagasin som alternativ till utmatning till elnätet. Glasälven ger möjligheterna att dels vid dammen till vattenkraftverket samt vid de gamla dammarna länge upp i dalgången, anordna dygnsutjämnande vattenmagasin eller genom att utnyttja Stora Glasjön anordna säsongsutjämnning. Genom att öka vattenflödet i Glasälven på detta sätt kan vattenkraftverkets energiproduktion ökas.

Pumpkraftverk kan få en verkningsgrad el till el om 75 - 80% medans batterilagring kan få 85 - 90 %. Lagringskapaciteten i vattenmagasin kan emellertid beroende på naturliga förutsättningar göras mångfalt större till betydligt lägre kostnader i jämförelse. Analys av kostnaden per kWh för solenergilagring i batterier ligger på c:a 3,75 kr/kWh exkl. solcellerna, se ref [4].

3.2 Energilager för dygnsutjämnning - överslagsberäkning.

Ett dygnsutjämnande vattenmagasin skulle kunna anordnas vid dammen i Hillringsberg. Höjdskillnaden till Glafs fjorden är 7 m. Tillgänglig vattenlagringsyta antas vara 800x50 m= 40 000 m². Antag 0,5 m tillåten vattennivåvariation. Det ger 20 000 m³ eller 20 000 000 kg vatten (G) på en fallhöjd (h) av 7 m över Glasfjorden.

Detta motsvarar en lägesenergi och ett energilager av $W_p = G \cdot h = 20\,000\,000 \cdot 7 = 140\,000\,000 \text{ kpm} = 140\,000\,000 \cdot 9,81 \text{ Ws} = 1,37\,10^9 \text{ Ws} = [1 \text{ kWh} = 3600 \text{ Ws} = 3,6\,10^6 \text{ Ws}] \cdot 1,37\,10^9 / 3,6\,10^6 \text{ kWh} = 381 \text{ kWh}$

Med 75 % verkningsgrad c:a 286 kWh användbart energilager för dygnsutjämnning och en halvmeters vattenvariation

3.3 Energilager för säsongsutjämnning - överslagsberäkning.

Ett säsongsutjämnande vattenmagasin skulle kunna anordnas i sjön Stora Gla ovanför Hillringsberg. Höjdskillnaden till Glafs fjorden är 100 m. För de energibehov som skisseras i detta projekt skulle troligen vattennivå variationerna bli försumbara. Tillgänglig vattenlagringsyta antas motsvara en cirkel på 3.0 km = $\pi \cdot 3^2 \text{ km}^2 = 28 \text{ km}^2 = 28 \text{ miljoner m}^2$. Antag 0,1 m tillåten vattennivåvariation. Det ger 2,8 miljoner m³ eller 2800 10⁶ kg vatten (G) på en fallhöjd (h) av 100 m över Glasfjorden.

Detta motsvarar ett energilager av $W_p = G \cdot h = 2800\,10^6 \cdot 100 = 2,8\,10^{11} \text{ kpm} = 2,8\,10^{11} \cdot 9,81 \text{ Ws} = 2,74\,10^{12} \text{ Ws} = [1 \text{ kWh} = 3600 \text{ Ws} = 3,6\,10^6 \text{ Ws}] \cdot 2,74\,10^{12} / 3,6\,10^6 \text{ kWh} = 2,1\,10^8 \text{ kWh} = 210\,000\,000 \text{ kWh}$

$W_p = 2,8 \cdot 10^{11} \text{ kpm} = 2,8 \cdot 10^{11} \cdot 9,81 \text{ Ws} = 27,5 \cdot 10^{11} \text{ Ws}$. [1 kWh = $10^3 \cdot 3600 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$], $27,5 \cdot 10^{11} / 3,6 \cdot 10^6 = 7,64 \cdot 10^5 \text{ kWh} = 764 \text{ 000 kWh}$

Med 75 % verkningsgrad c:a 573 000 kWh användbart energilager för säsongsutjämning per dm vattennivåvariation.

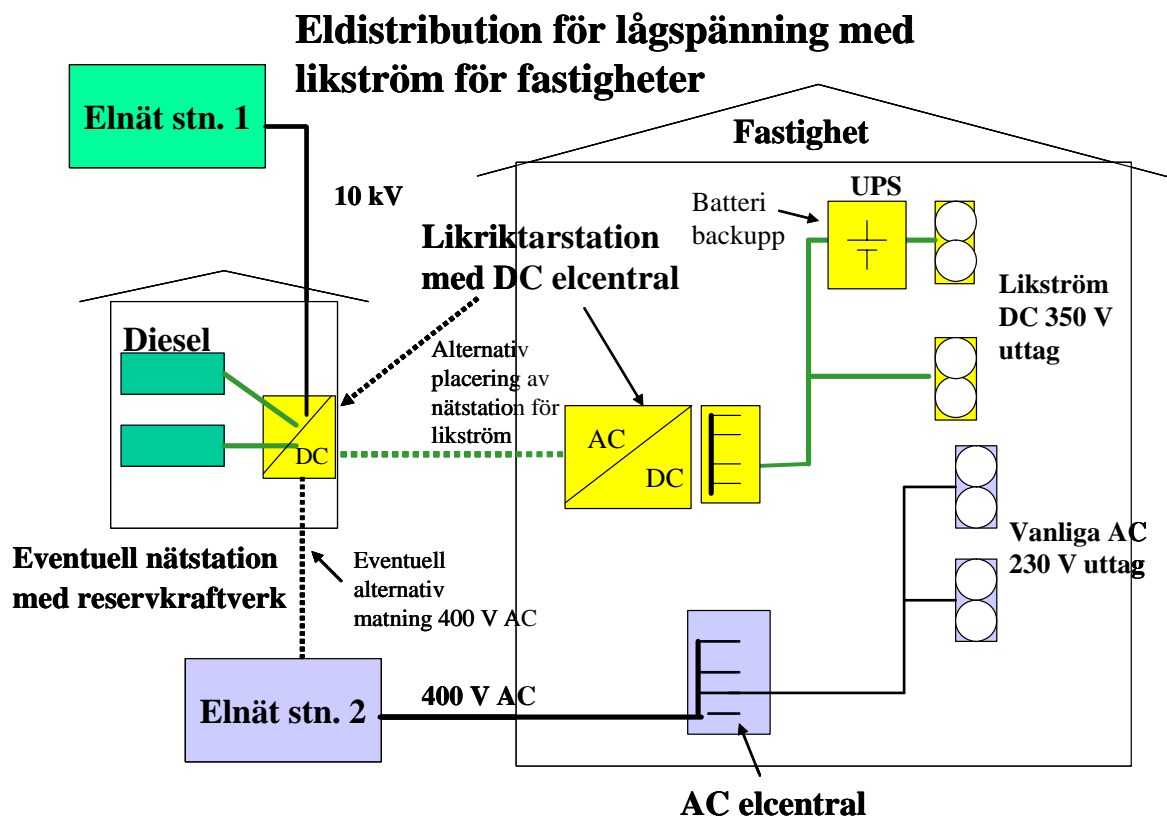
Foton på dammen och gamla kraftstationsbyggnaden.





4 Fastighetsnät för 400 V DC enligt diskussioner inom IEC (International Electric Commission)

4.1 Allmänt



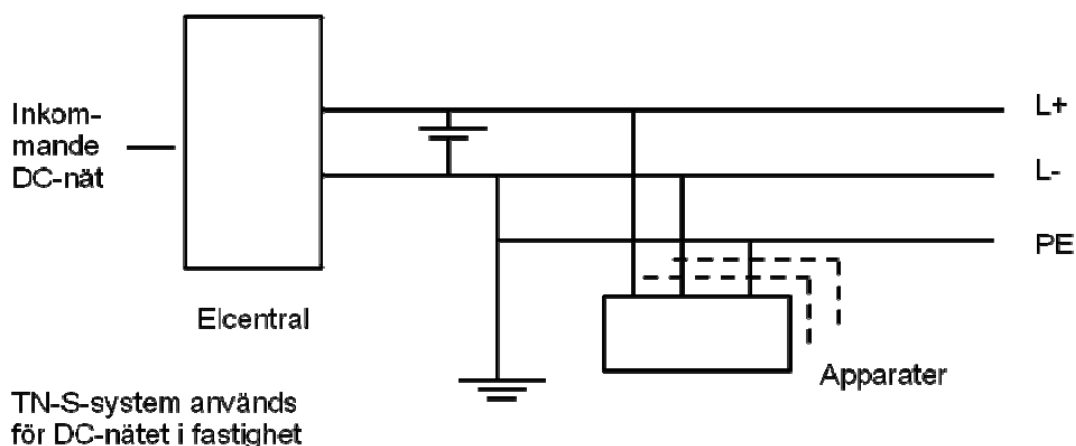
Från elcentral med jordfels- och ljusbågesbrytare bygger man fastighetsnätet på samma sätt som 1-fas AC fastighetsnät. Man kan använda standard installationsledningar för 700 V och 1000 V. Dessa kan användas i både AC- och DC-system. Dimensionering av fastighetsnätet med avseende på säkringsstorlekar och kabelareor följer samma regler som för AC enligt elinstallationsreglerna. Inom IEC diskuteras nu att införa ljusbågedetektorer med bortbrytning både för AC och DC installationer. Man har redan standard för detta i solcellanläggningar. Men särskilt i DC-installationer i fastigheter är detta mycket troligt ett kommande krav. Produkter finns och nya är även under utveckling.

Beträffande säkringar säkringsbrytare (automatsäkringar) och MCCB-brytare för större effekter finns dessa även för DC. Emellertid är vanliga diazedsäkringar (så kallade hushållssäkringar) det lämpligaste och billigaste valet i ett mindre fastighetsnät om man inte av speciella skäl vill kosta på sig säkringsbrytare. Diazed hushållssäkringar är en kvarleva från tiden då DC vara standard innan AC kom. Dessa säkringar är certifierade för 500 V AC och DC.

Beträffande strömbrytare och kontaktorer kan 3-fasvarianter av dessa användas i DC-anläggningar genom seriekoppling av de tre brytarkontaktelementen. Exempel på elmateriel för DC från ABB finns i ref [9], Presentation av exempel på ABB-prod för LVDC.

För belysningsändamål rekommenderas så kallade DALI-system med touchkontroll och fjärrkontroll och kontaktorstyrning för till och frånslag. Även vissa nya väggströmbrytare är på väg att utvecklas för DC för elektronisk last. Lågenergi lampor och lysrör med så kallade hf-don kan användas för 350 V DC spänning.

Fastighetsnät i mindre fastighet
DC-nät konstruktionshuvudspänning 400 V, 1-fas ,
Driftspänning för fasspänning 350 V



Se även E-installationsreglerna – Utövan de av el installationer för lågspänning SS436 40 00+R1 Utgåva 2 Del 3 312.42.4 TN-S (DC)

Elcentralen bör innehålla RCD (Residual Current Disconnect) och AFD (Arc fault Disconnect).

Beträffande fastighetsnät i en ladugård måste särskilt beaktas den korrosiva miljön med ammoniakhaltig luft. Detta gäller både vid användning av DC såväl som vid användning av AC.

4.2 Apparat- och driftspänning på 350 V DC eller 380 V DC

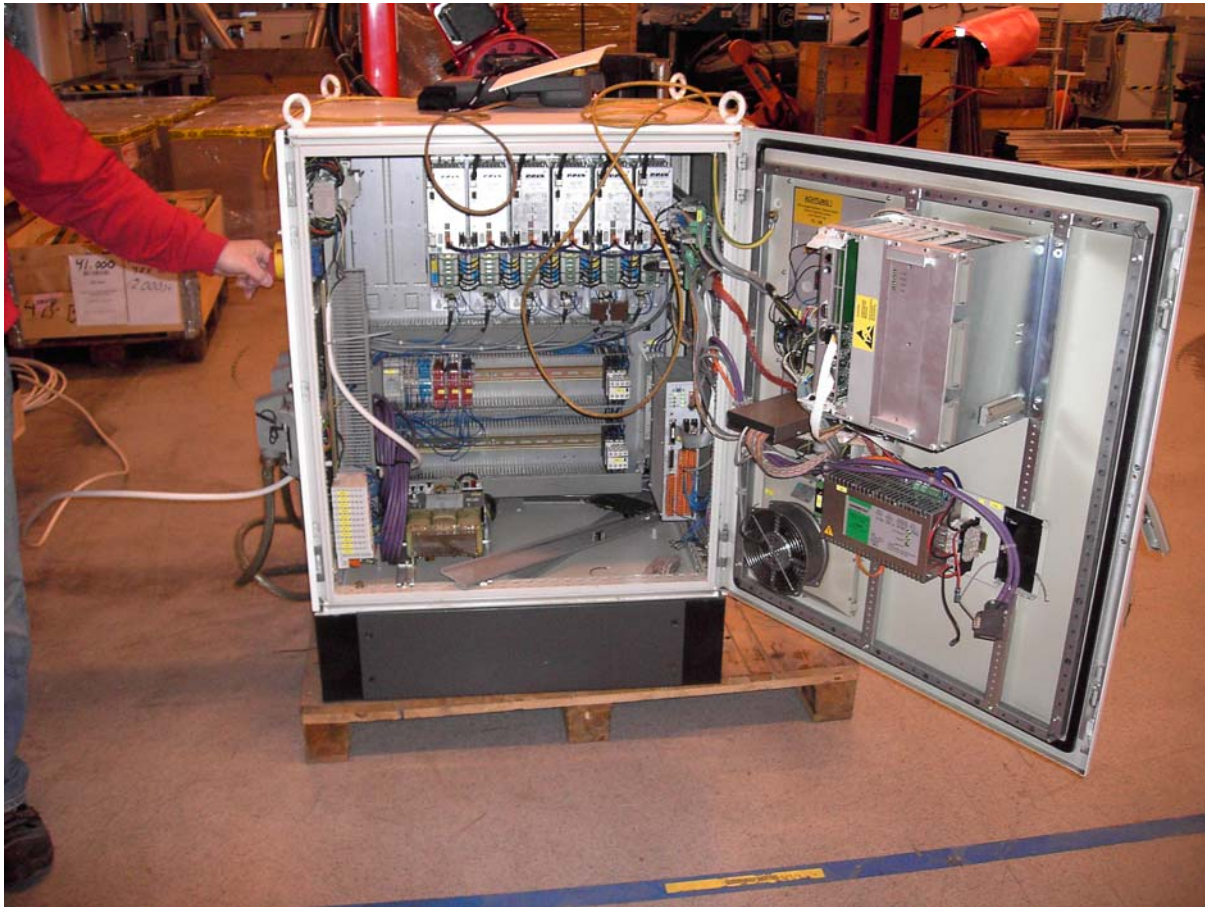
Det förekommer i diskussionen om likströmsmatning olika spänningar. Man nämner 400 V. Denna spänning är konstruktionsspänningsnivån för vilken apparater och nät ska vara konstruerade. Därefter ska man välja den driftspänning, som man vill använda i sitt nät eller system.

Inom IEC (International Electric Commission) och ETSI (European Telecommunications Standard Institut) diskuteras om man ska välja driftspänningen 350 DC eller 380 V DC. I detta förslag rekommenderas 350 V som driftspänning. Med 350 V spänning tillåts att man kopplar vanliga AC apparater till nätet. Dessa är konstruerade för standard AC spänning med sina toleranser upp till 375 V DC spänning internt (240 V plus 10 % gånger roten ur 2 = 375 V). Vid 350 V driftspänning får man plus 7 % tolerans, vilket är en fördel. Om man istället skulle välja driftspänningen 380 V så kan inte vanliga apparater anslutas utan endast apparater speciellt konstruerade för 380 V DC. När i

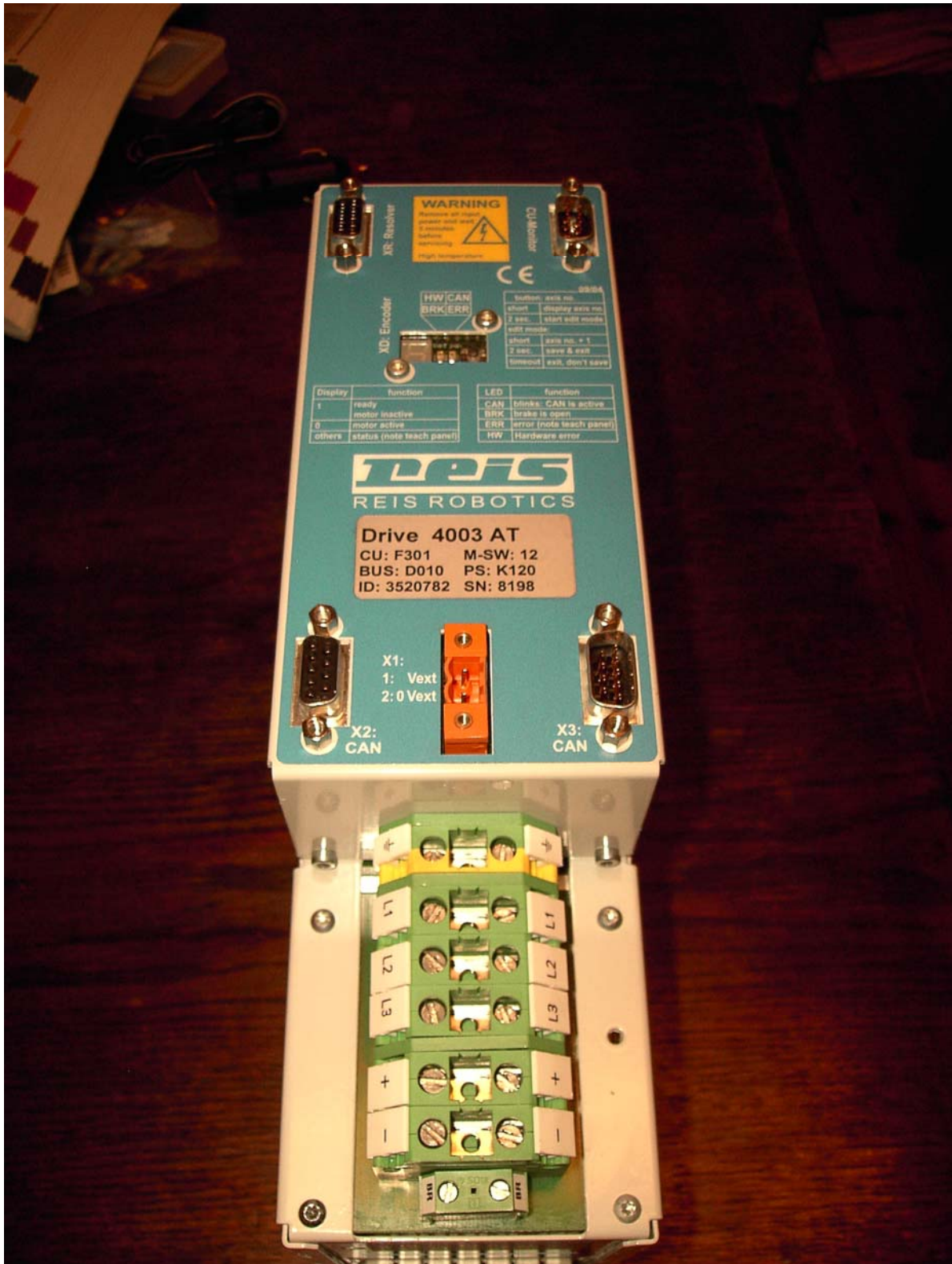
framtiden 380 V DC apparater finns tillgängliga kan dessa senare anslutas till ett 350 V DC nät, eftersom 380 V apparaten naturligtvis kan anslutas till den lägre spänningen.

5 Strömmatning av solcellfabrikens robotar med 350/700 V DC

I solcellfabriken finns mellan 30 till 40 st robotar. Cirka 20 st är av fabrikat Reis Robotics 10 st är från ABB Robotics och resten 4 st från tyska KUKA. I linjerna finns också ett antal automatiska maskiner för olika uppgifter, t.ex. lödmaskiner. På fabriken finns också en fristående robot från Reis utanför produktionslinjerna. Den har använts i utbildnings- och övningsyfte. Den 22 november i samband genomgång av solfabrikens elanläggningar gjordes en besiktning och genomgång av robotens kontrollskåp där all driv- och styrelektronik sitter.



Det finns 6 st av de viktiga drivdonen överst i skåpet. På de nedersta gröna plintarna finns uttaget, inkoppling till de så kallade mellanledskondensatorerna och deras spänning är 600 V DC. Dessa kondensatorer är det största energilagret i drivdonen.





En "e-mail" kommunikation om möjligheten att strömmata roboten med 350 V/700 V DC har gjorts med Georg Berberich, Leiter Steuerungsentwicklung Hardware / Manager Control Development Hardware, Reis GmbH & Co. KG Maschinenfabrik I Tyskland, se ref [18]. Se även driftmanual och teknisk manual, ref [19] och ref [20]. Svaret från Reis var att det inte är okomplicerat att modifiera utrustningen för DC

matning. Det skulle vara av en sådan omfattning att det skulle bli ett mindre utvecklingsprojekt. Emellertid kan detaljerna i svaret tolkas. Efter genomläsning av manualerna i ref [19] och [20] blir tolkningen att det förmodligen inte är ett särskilt stort projekt att göra erforderliga modifikationer. Det är mera en fråga om kostnader för att ändra programvara så att vissa vakter inhiberas och att eventuellt göra vissa hårdvaruändringar på kretskorten i drivenheterna. Inget av detta torde vara omöjligt att göra för erfarna elektroniker. De drivdonsenheter som finns i Glava kanske kan användas. Det som behövs är ett samarbete med Reis där företaget under sekretessavtal med Glava Energy Center instruerar oss att göra erforderliga ändringar och mot betalning gör de mjukvaruändringar i styr och kontrollparametrar som erfordras. UPN har i sitt nätverk erforderlig kompetens för att genomföra ett sådant projekt i samarbete med Reis Robotics. Magnus Nilsson har uttryckt intresse för att bygga om en linje med robotar och automater till att gå på DC för att jämföras i drift med den vanliga AC-matningen.

6 Strömmatning av solcellfabrikens kyl- och ventilationssystem och cirkulationspumpar med 350/700 V DC

För att på ett systematiskt och kontrollerat sätt prova strömmatning av frekvensomriktare för drivning av asynkronmotor med likström besöktes Gunnar Englund och GKE Elektronik i Granbergsdal utanför Karlskoga den 19 december 2011. Gunnar Englund och GKE Elektronik har världsledande kunskaper om alla egenskaper och problem hos frekvensomriktare för drivsystem av elektriska motorer.

Vid besöket skulle ett första experiment med batteri- och likströmsdrift utföras. Samtidigt skulle kvalificerad registrering av strömmar och spänningar till frekvensomriktaren vid dels DC-drift och dels AC-drift göras för att visa och tydliggöra skillnaden för ett elnät vid de båda driftfallen.

Beträffande resultatet vilket var mycket lyckat, se ref [video 2] Motor inverter Granbergsdal. Experimentet visar att det går utmärkt att mata en 1-fas frekvensomriktare för 230 V AC med 350 V likström. Gunnar som är expert på frekvensomriktare vitsordar att det även ska gå att mata en 400 V 3-fas frekvensomriktare med likström om spänningen regleras till 560-600 V DC. Detta kan göras från 700 V spänning med en mindre DC/DC-omvandlare.

Nästa steg i utprovningen var en provkörning av en av fläktmotorerna i ett av ventilationsaggregaten i en tom kontorsdel i solcellfabriken i Hillringsberg. Detta prov utfördes den 10 januari 2012. Målet med provet var att visa att det går att mata fläktmotorn med DC utan att ventilationssystemets komplicerade styrelektronik behöver modifieras. Då kan huvuddelen av energin till ventilationen och dess motorer tas från ett DC-nät, men styrningen kan ligga kvar på AC-nätet. Eventuellt skulle senare även styr- och kontrollelektroniken kunna läggas över till DC. Men det kräver en mer omfattande insatts för att utreda. Även detta prov genomfördes med lyckat resultat en 1-fas fläktmotor kördes på ett batteri med spänningen runt 300 V, se ref [video 3-4] Solcellfabriken fläktrum öppet och stängt.

7 Strömmatning av mjölkningsrobotar med 350/700 V DC

En intervju av Bengt Johansson på Lely 070/3444781, redovisar att:

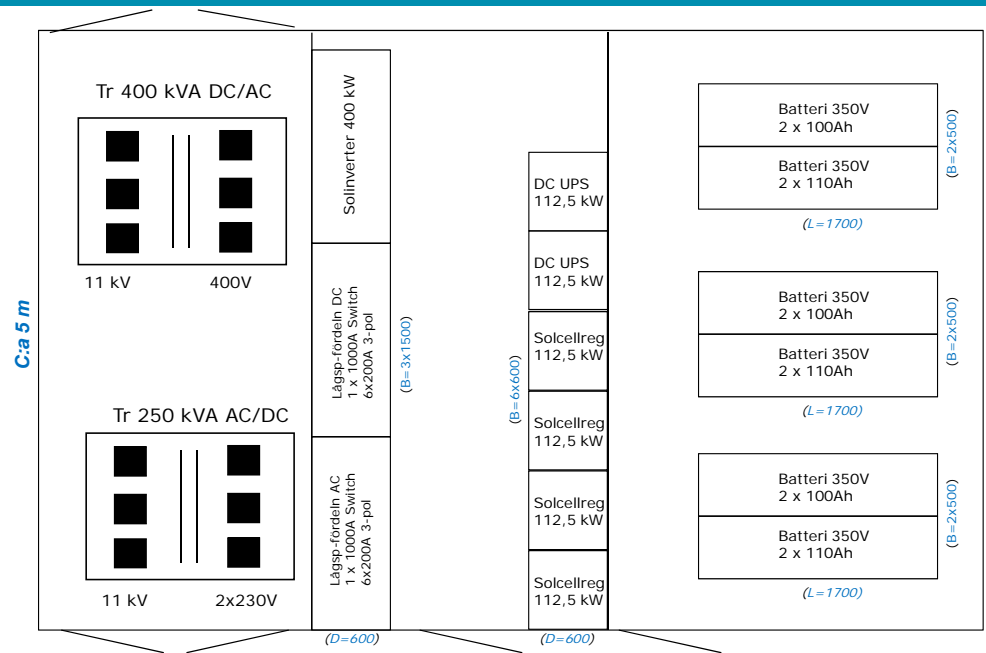
- Logiken strömmatas av 24 V DC. Detta gör att dess likriktare kan strömmatas av 350 V DC spänning
- Det finns en 1-fas frekvensomriktare. Denna kan strömmatas av 350 V DC
- Det finns en 3-fas motor som är direktmatad av 3-fas 400 V AC spänning med 3,7 kW effekt. Den kan strömmatas av en 3-fas frekvensomriktare som kan läggas till i mjölkningsroboten. En 3-fasig frekvensomriktare kan strömmatas av 560- 600 V DC. Med en liten DC/DC omvandlare kan 700 V huvudspänningen sänkas till 560 V. Denna DC/DC omvandlare är en något modifierad solcellregulator för DC-system.

Slutsatsen är att de nya mjölkningsrobotarna kan anpassas till DC drift.

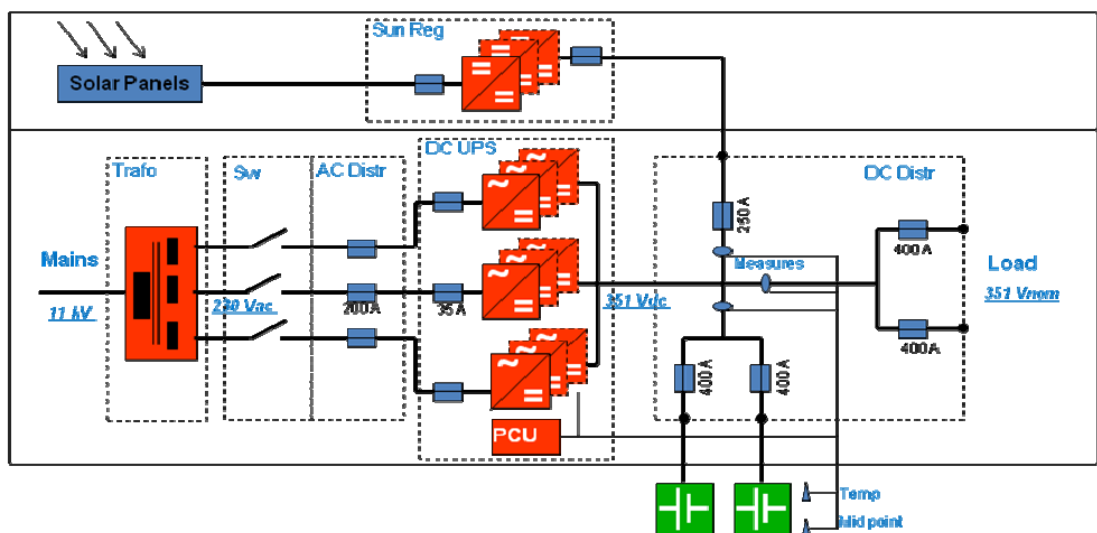
8 Förprojektering av nya kraftstationerna i Glava Hillringsberg

Glava högspänningsansluten AC/DC kraftstation

Layout – 400 kW sol 200 kW AC/DC 10 kV/+/-350 V och 400 kW DC/AC



C:a 7 m Batterilager c:a 200 kWh eller 200 kW c:a 30 min



Isolating transformer
 3 phase, secondary windings isolated
 230 V AC out/phase

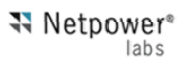
Mains Switch
 Mains Distribution

Rectifier modules
 2500 W non isol E/f 0,97

Battery
 26 x 12 V blocks

Distribution Fuses

Sun Tracker
 2500 W E/f 0,985



I samband med val av kraftutrustning bör man välja utrustning utan "onödiga" transformatorisoleringar. Varje borttagen transformatorisolering sparar c:a 2 % av kontinuerliga omvandlingsförluster.

En diskussion som förekommer är huruvida man ska ha en två-vägs -(bidirektionella) omriktare eller två en-vägs-omriktare i anslutningspunkten till överordnat nät. I diskussionen kan framhållas att högsta möjliga verkningsgrad är viktig. Lika viktigt eller viktigast är att tekniken ska vara robust, driftsäker och underhållsvänlig. Verkningsgraden i en-vägs-omriktare kan göras något högre än i två-vägs-omriktare. Tillförlitligheten i en-vägs-omriktare kan göras betydligt högre än i två-vägs-omriktare. Eftersom den senare har flera komponenter och är mer komplicerad.

Framförallt är det viktigt att inmatningen från överordnat nät har högsta möjliga verkningsgrad och robusthet. Inmatningen bör alltså göras så enkel och robust som möjligt.

Beträffande utmatningen av överskottsel från solcellsanläggningarna är den inte lika viktig vare sig beträffande verkningsgrad, robusthet och tillförlitlighet. Utmatningsutrustningen är också en mycket mer komplicerad och sårbar utrustning än inmatningsutrustningen, som kan göras mycket enkel och robust i ett en-vägs-utförande.

Man bör inte minska inmatningens tillförlitlighet genom att komplicera den med en två-vägsutrustning, eller göra inmatningen beroende av utmatningen. En två-vägs-utrustning som får fel kan då slå ut både inmatning och utmatning och kan orsaka elavbrott i DC-nätet under längre tid.

Det driftsäkraste och mest effektiva systemet bör byggas med separata en-vägs-utrustningar, en för inmatning och en för utmatning respektive. Ett fel i den mest komplicerade för utmatningen kommer då inte att kunna ge avbrott i inmatningen.

9 Förprojektering av distributionsnät i Glava Hillringsberg

9.1 Diskussion om förprojektering

Ett "buss"-nät av Edisontyp kan få sin största utsträckning om den största effektinmatningen sker i dess mitt och kan sträckas längre om effektinmatning kan ske utefter linjen. Om man analyserar strukturen som fanns i Stockholm och Göteborg under DC-tiden kan man se att distributionsradien runt kraftstationerna var 700 m-1000m vid en systemspänning 440 V, vilket är 60 % av den som nu diskuteras 700 V. Då hade man inte någon inmatning till nätet längst efter linjerna eller i periferin på samma sätt som i Hillringsberg. En distributionsdiameter av upp till kanske 2,5 eller 3 km torde vara ekonomisk utan att man behöver gå högre spänning än plus minus maximal apparatspanning för dagens nätaggregat till elektronik (350/700 V). Då erhåller man ett mycket enkelt, energieffektivt, ekonomiskt och robust mikrogrid för lokal energiproduktion och konsumtion. Inga transformeringar eller aktiv elektronik eller kylutrustning behövs, vilket ger hög tillgänglighet och förenklar underhållet.

Ett "buss"-nät med uttag och inmatning längs hela ledningen antas inte behöva beräknas för att klara toppeffektbehovet för överföring hela sträckan. De redovisade toppeffektbehovet framförallt i solcellfabriken kan och behöver inte täckas av DC kraft enbart. Mycket av toppeffektbehovet där går till lamminatorernas värmeelement. Denna värmeeffekt bör fortsättningsvis tas via AC-nätet. En beräkning torde kunna göras för 200 kW och ändå ge rimliga spänningsfall även vid lägsta driftspänning om c:a 300 V per fas eller 600 V huvudspänning.

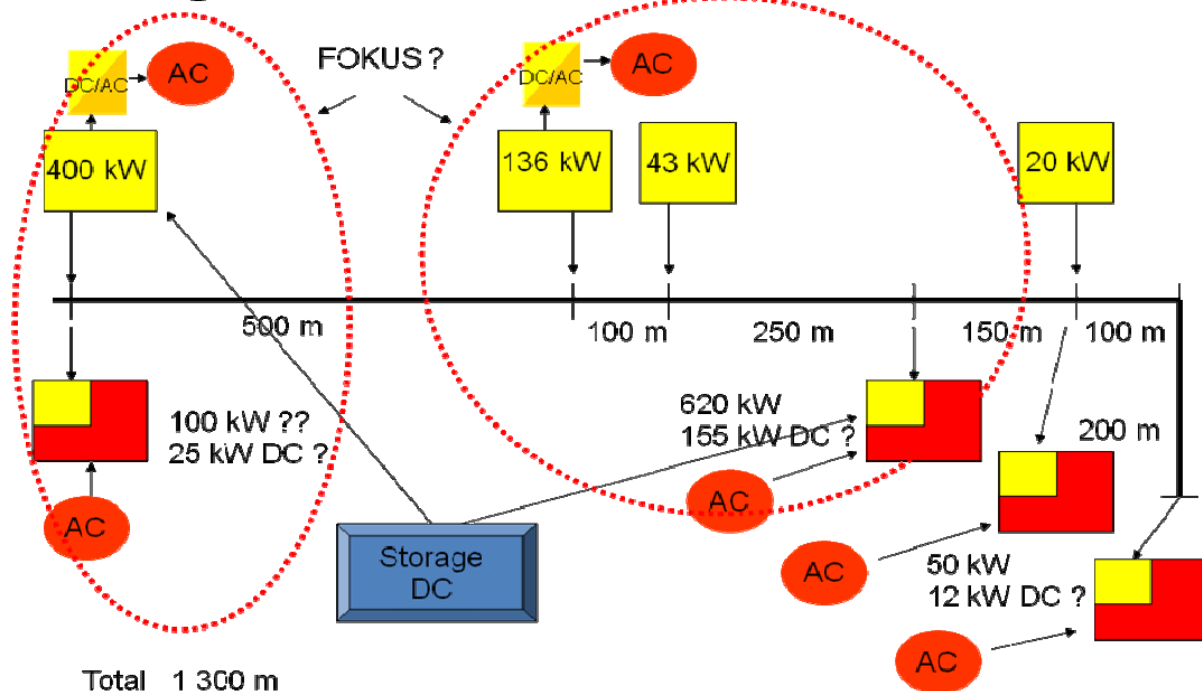
Det antas att likriktarkapacitet och batterilager för inmatning till DC-nätet placeras både vid nya ladugården och vid befintliga solcellanläggningen. Vid nya ladugården c:a 200 kW och vid befintliga solcellerna eller i solcellfabriken c:a 100 kW. Batterier för 660 Ah vid nya ladugården och eventuellt lika mycket vid fabriken för att skydda processen c:a 1 timme och eller lagra dag solenergi till nattförbrukning.

Solcellregulatorer för inmatning till DC-nätet placeras vid solcellanläggningarna.

En spänningsfallsberäkning görs med antagandet om 5 % spänningsfall vid antagen överföring av 200 kW på hela sträckan som ett medelfall för effektöverföring. Olika belastningssituationer och inmatning av effekt längs sträckan och när det största effektuttaget gör att ett verkligt värsta fall är svårt att identifiera. Riktvärdet 5% spänningsfall är gammalt och baserat på belysnings- och motorlaster i gammal teknik. Det är inte längre lika kritiskt för moderna elektroniska laster. Många av de moderna elektroniska lasterna inklusive belysning klarar utan att prestanda påverkas negativt minus c:a 20 % (190 V AC och 270 V DC) och plus minst 10 % av 240 V AC (265 V AC och 375 V DC), som de flesta moderna apparater är konstruerade för.

9.2 Diskussion om nätanslutningar för in och utmatning längs efter nätet

DC-grid, distances and load



Summa topeffekt för DC konsumtion beräknas till 210 kW.

I konsumtionsställena behövs inga DC/DC omvandlare enligt skissen om det så kallade Edison-systemet med huvudspänningen 700 V används och 350 V som fas-spänning. Denna fasspänning kan distribueras via vanliga elcentraler direkt till alla vanliga elapparater och belysning. De normala nätaggregaten i modern elektronik har ett stort inspänningsområde och kan utan att de påverkas i sin funktion hantera ett spänningsområde vid batteridrift från 350 V och ned till 300 - 270 V vilket är det lägsta som kan förekomma. Även lågenergilampor klarar denna lägre gräns utan att ljusstyrkan påverkas särskilt mycket.

Obs! Det måste vid detaljprojekteringen kontrolleras att alla skydd (säkringar) är bidirektionella dvs. fungerar för strömmar i två riktningar.

9.3 Effektsammanställning, för Glava Hillringsberg DC-nät

Produktion:

- Befintliga solcellanläggningen utökas till topeffekt 130 kW. Uppmätt energiproduktion 120 000 kWh per år. Medeleffekt över året är: 13,7 kW.
- Nya ladugården solcellanläggning 400 kW. Enligt uppmätt produktion $400/130 \times 120000$ kWh = 370 000 kWh per år. Medeleffekt över året är: 42,0 kW.
- Vindkraftverk 43 kW topeffekt kortvarigt. Energiproduktion per okänd svår att beräkna men uppskattas till 100 000 kWh
- Vattenkraftverk topeffekt 20 kW Bedömd produktion 90 000 kWh per år. Medeleffekt över året är: 10,0 kW.

- Summa maximal toppeffekt i generatorkapacitet 593 kW. Max medeleffekt över året är: 65.7 kW.
- Summa uppskattad maximal årsproduktion om all producerad energi kan tillvaratas. 680 000 kWh

Förbrukning:

- Nya ladugården antas ha samma toppeffekt som nuvarande lagård 75 kW. Samma förbrukning på 420 000 kWh per år. Medeleffekt över året på 48 kW.
- Solcellfabriken har toppeffekt om 620 kW. Förbrukning vid full drift 2 300 000 kWh per år. Medeleffekt över året på 262 kW. Nuläget i fabriken är 30 % produktion. Detta indikerar toppeffekt antag 310 kW och förbrukning 767 000 kWh per år. Medeleffekt över året på 87 kW. En stor del av toppeffekten ligger i värmeelement i laminatorer och kylmaskiner för luftkonditionering under sommaren. Fördelningen mellan AC-förbrukning och DC-förbrukning är svår att bedöma, men beror på hur stor ombyggnad av fastighetsnätet som kan göras.
- Hillringsbergs Herrgård har toppeffekt på 50 kW och en förbrukning per år om 165 000 kWh. Medeleffekt över året 19 kW. Om herrgården ska matas med DC är ännu oklart men andelen DC blir beroende av om hur stor ombyggnad av fastighetsnätets som kan göras. Belysning och fläktar borde kunna läggas på DC utan stor kostnader
- Summa maximal toppeffekt i förbrukning 435 kW. Max medeleffekt över året är: 154 kW.
- Summa uppskattad maximal årsförbrukning 932 000 kWh

9.4 Spänningsfallsberäkning

Antag att 200 kW behöver överföras hela sträckan 1200 m med ett maximalt spänningsfall av 5 %. Enligt kabeltillverkare är den billigaste aluminiumkabeln som går i störst volymproduktion N1XE 4x95, 4x150 och 4x240 mm² [8] utan skärm. Tre stycken kablar kanske ger den bästa ekonomin beroende på vilken effekt man slutgiltigt vill överföra. Det tänkta systemet är ett treledarsystem men den fjärde ledaren skulle kunna användas som en extra PE-skyddsledare längs hela nätet i systemet, vilket skulle kunna vara säkerhetshöjande. Detta skulle kunna jämföras med 5-ledarsystemet för 3-fas. Men det är tveksamt om behoven för en genomgående skyddsledare i likströmsfallet är lika stort som i växelströms 3-fassystemet. Detta kanske skulle specialstuderas. Enligt reglerna är det dock tillåtet att ansluta PE-ledare till neutral eller mittledaren i ett DC treledarsystem. Vilken kabel som ska användas slutgiltigt i ett nät måste specialstuderas tillsammans med kabelleverantörer i den slutgiltiga projekteringen.

Antag för beräkningen 2 alternativt 3 parallella kablar.

- N1XE 4 ledare 240 mm² resistans 0,125 Ohm/km
- 2 alt 3 kablar i parallell kan väljas
- Huvudspänning 700 V, 5% max spänningsfall=35 V
- Kabellängd 1,2 km 2// 0,075 Ohm enkel väg 3// 0,05 Ohm
- Antag överföring av max 200 kW eller 333 A vid lägsta spänning 600 V i batteridrift och 285 A för 700 V vid normal drift
- Antag överföring av max 300 kW eller 500 A vid lägsta spänning 600 V i batteridrift och 429 A för 700 V vid normal drift

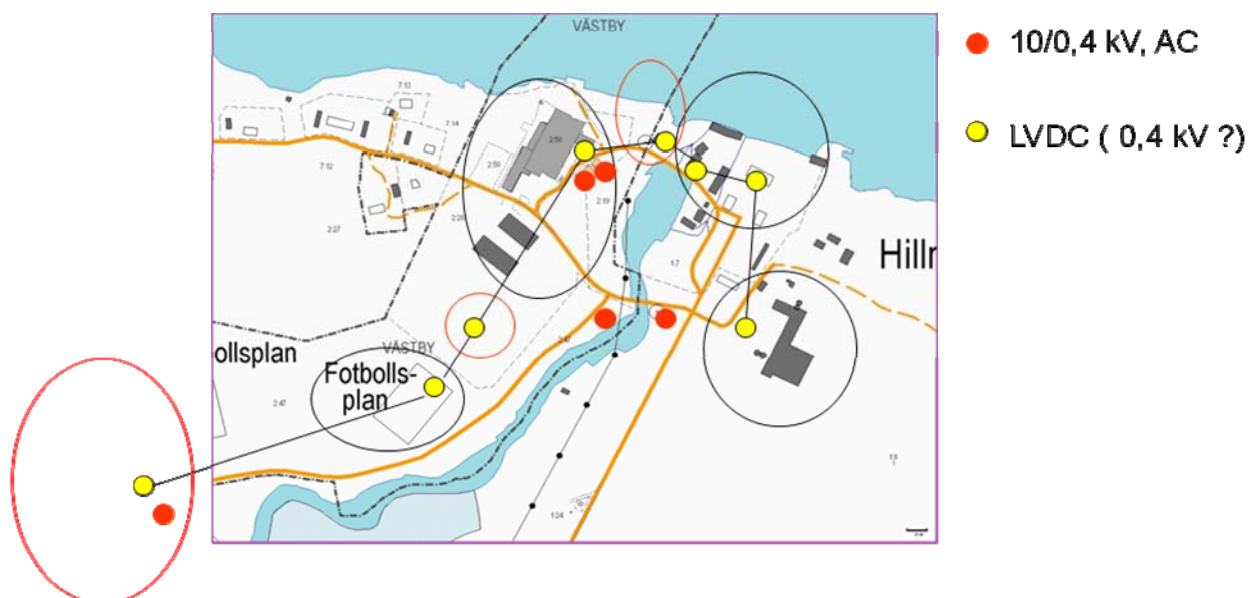
- 2 kablar (200 kW) // ger spänningsfallet (dubbel väg) blir $2 \times 0,075 = 0,15$ Ohm \times 333 A = 50 V (8,3%) spänningsfall vid 600 V och $0,15$ ohm \times 285 A = 43 V (6,1%) vid 700 V.
- 3 kablar (200 kW) // ger spänningsfallet (dubbel väg) $2 \times 0,05 = 0,1$ Ohm \times 333 A = 33 V (5,5%) vid 600 V och $0,1 \times 285 = 28,5$ V (4,0%) vid 700 V

Beträffande spänningsfallet på 5 % som norm kan framföras att moderna elapparater inklusive belysning klarar minst + 10 % och minus c:a 20 % i spänningsvariation från nominellt 230 x roten ur $2 = 1,42 = 325$ V DC. I nätet behöver bara i undantagsfall 200 kW överföras hela sträckan eftersom 30 % av inmatad effekt kan komma från solcellerna på kort avstånd från fabriken och att likriktarkapacitet även installeras där.

Obs! Det är mycket viktigt att plus och minus ledare följs åt inne i varje kabel vid förläggning, även vid parallellkoppling av kablar. Man får inte lägga plus i en kabel och minus i en annan kabel om flera kablar används. Detta är mycket viktigt för att få så låg induktans som möjligt i kabelförbandet. Induktansen i ett kabelförband är linjärt beroende av ytan som strömmen omsluter, - således ytan mellan plus och minusledarna i en kabel. Detta får utslag som en skyddsparameter i samband med kortslutningar. En onödigt stor induktans i ett kabelförband kan leda till onödigt stora plasmabågar som kan vara svåra att släcka i samband med eventuella kortslutningar. Denna induktans kan också ge skadliga överspänningar i samband med kortslutningar och säkringsutlösningar.

Det föreslås att två eller tre parallella kablar förläggs enligt förslaget i kartskissen. Uttagskåp placeras på lämpliga platser vi senare projektering. Vardera fas säkras med lämplig storlek på säkring. Val av typ och storlek avgörs vid senare detaljprojektering.

Local "DC-grid" within the area



10 Förprojektering av fastighetsnät i solcellfabriken

Det föreslås att en ny transformatorstation för direkt högspänningsomvandling från 10 kV till 350 V DC anläggs vid sidan av TR 1 och TR 2, se "Factory layout" nedan. I den nya transformatorstaden placeras också likriktare för 100 till 200 kW. Ett batteri som är lika stort som det som föreslås vid nya ladugården placeras inne i fabriken i ett utrymme nära transformatorerna. I samma rum tas det nya DC-nätet in och ett DC ställverk för distribution till undercentraler placeras där.

Inne i fastigheten anläggs ett DC-distributionsnät parallellt med det befintliga AC-nätet. I möjligaste mån används befintliga kabelvägar för AC-kablar fram till undercentraler för DC nätet. Dessa installeras vid sidan om de nuvarande AC-undercentralerna på lämpliga platser. Kablar och undercentraler märks tydligt med DC-skyltar för att undvika förväxling.

Det föreslås att all belysningen, alla ventilationsfläktar och utvalda robotar ansluts till DC-nätet. Dock icke lamineringsrobotarna.

10.1 Belysning

I fabrikslokalen förekommer två lysrörstyper. Det modernare T5 (mycket smalt rör), som har hf-ballast och som kan matas med 350 DC utan åtgärder. Det äldre som har magnetisk tändning och är ett tjockare rör. Dessa kan inte matas med DC.

Det är nu under utveckling nya så kallade LED armaturer både för gatubelysning och för t.ex. fabrikslokaler samt för konor. Philips i Holland har dessa och vill gärna ha referensanläggningar för demo och långtidsprovning i olika miljöer. Philips är redo att ta fram ett drivdon som kan matas med 350 V DC för LED armaturer. I Sverige håller Fagerhults i Småland på med utveckling av motsvarande för främst T5-lysrör. Fagerhult har ett samarbete med företaget Hellvar i Finland för att ta fram ett certifierat hf-ballastdon, som kan matas med 350 V DC.

Ytorna som ska belysas är:

Kontor: 1582m²

Produktion: 3454m²

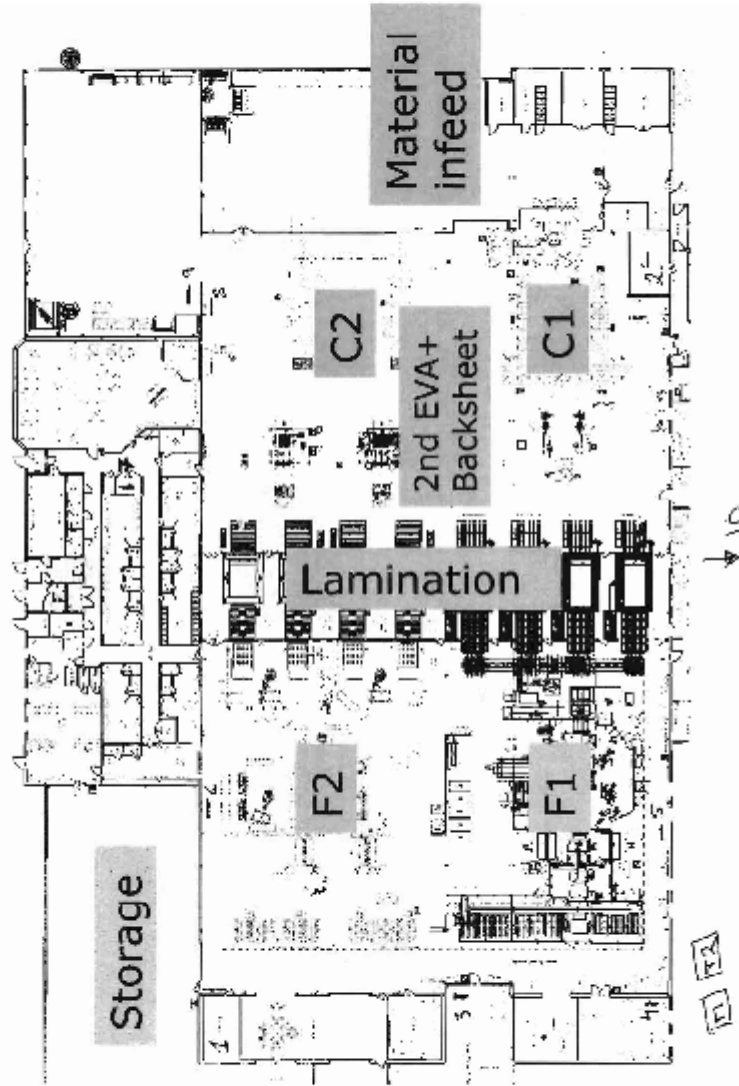
Lager: 1290m²

Personalutrymmen och matsal/restaurang: 678m²

Lab: 400m²

1. SÖTÄLVARE RINGEN T1
2. SÖTÄLVARE RINGEN T2
3. UNDER FÖR DELNING
KOMPLESSERIE/VIKOR
- 4-9 UNDERLAGSPLÅNENE
10. UNDERLAGSPLÅNENS DEL

Factory layout



Magnus Nilsson 2011

11 Referenser

1. Comparison of low voltage AC and DC power grids, Ulrich Boeke, Matthias Wendt, Philips Research, 5656 AE Eindhoven, The Netherlands.
2. Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät, Elforsk rapport 04:43, Ulf Johansson, Vattenfall Utveckling AB, Ulf Grape, Vattenfall Utveckling AB
3. Efficiency analysis of low- and mediumvoltage dc distribution systems, Daniel Nilsson, Student Member, IEEE and Ambra Sannino, Member, IEEE
4. Von Mythen und Märchen – Trotz einer Flut neuer Angebote lassen rentable Akkusysteme für den Keller auf sich warten, tidskriften PHOTON August 2011. (Finns endast i papperskopia)
5. Revolutionary Electricity Distribution, System Based on Power Electronics, Tero Kaipia, Lappeenranta University of Technology.
6. POSSIBILITIES OF THE LOW VOLTAGE DC DISTRIBUTION SYSTEMS, Tero Kaipia, Pasi Salonen, Jukka Lassila, Jarmo Partanen, Lappeenranta University of Technology
7. Experiences from a Back-to-Back Converter fed Village Microgrid, J. Niiranen, Senior Member, IEEE, R. Komsu, M. Routimo, Member, IEEE, T. Lähdeaho and S. Antila.
8. N1XE 1 kV Product Information från Ericsson Cable
9. Presentation av exempel på ABB-prod för LVDC
10. Electronic Loads and Interconnected Systems, Teuvo Suntio, Tampere University of Technology, Electrical Energy Engineering
11. SINGLE-PHASE ELECTRONIC LOAD INTERACTIONS WITH SUPPLY NETWORK, LARI NOUSIAINEN, Tampere University of Technology, Electrical Energy Engineering
12. Inverkan på den lokala elkvaliteten pga av ökad användning av kraftelektronisk styrda laster - Bakgrundsförklaring till Professor Teuvo Suntios arbete, Torbjörn Thiringer, CTH, Department of Energy and Environment, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
13. Elanläggning Granbergsdal offert 1905
14. Elanläggning Granbergsdal resolution 1 (beslut av myndighet)
15. Elanläggning Granbergsdal resolution 2
16. Elanläggning Granbergsdal utlåtande
17. Elanläggning Granbergsdal protokoll
18. Robot Drive 4003 AT on DC at GLAVA solar cell factory - Not possible.
19. Operating manual drive 2000_4000
20. Technical manual drive 4000 AT
21. Safety_and_Interoperability_of_DC_Power_Grid_Systems U Boeke.

Video referenser:

1. Brytning av likström till elektronisk last
2. Motor inverter Granbergsdal
3. Solcellfabriken fläktrum öppet
4. Solcellfabriken fläktrum stängt