

MEMO

TITTEL SSSB - Bornholm lufthavn energiforsyning
DATO 2. februar 2018
TIL Projektgruppen
KOPI
FRA SEM
PROJEKTNR A096191

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

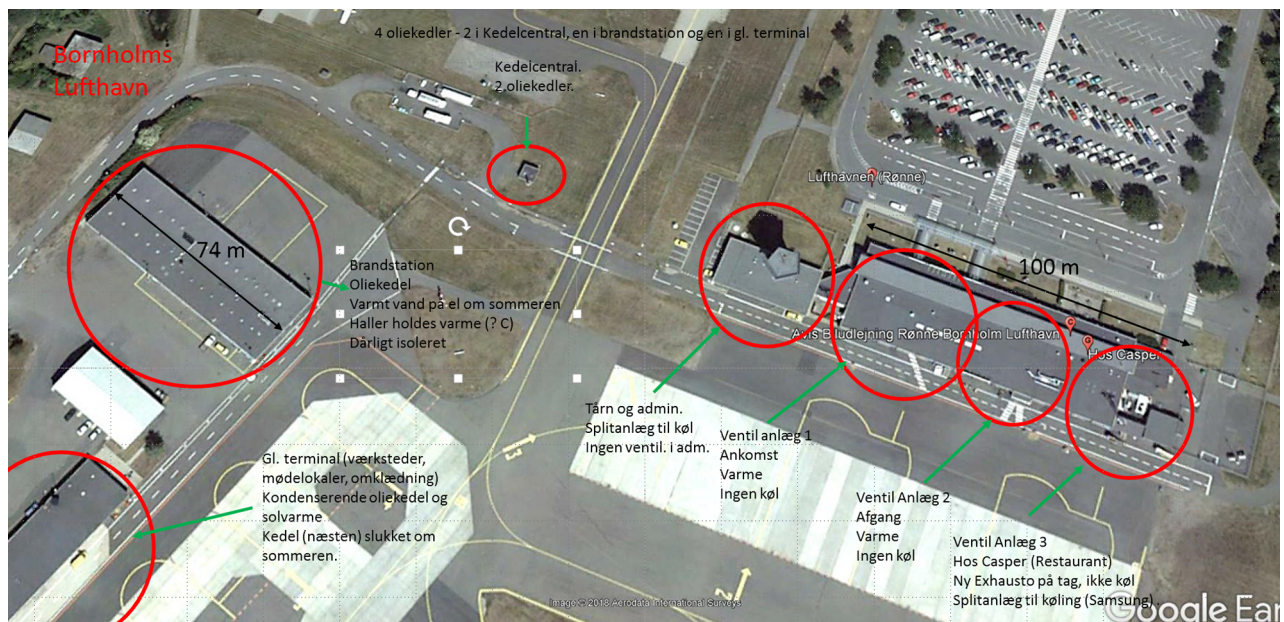
TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk
SIDE 1/13

1 Indledning

Dette notat er oplæg til teknikmøde om energiforsyningskoncept og koncept for demonstrationsprojekt på Bornholms lufthavn som en del af EUDP projektet **SolarSmartSystemBornholm**.

2 Overblik

Energiforsyning til lufthavnen er beskrevet overordnet i nedenstående figur.



Figur 1 Oversigt over energianlæg, Bornholms Lufthavn.

Kedelcentral - oliekedler

Denne forsyner varme til tårn- og administrationsbygning samt terminalbygningen. Der er to oliekedler. Det årlige forbrug af olie er ca. 47000 liter.

Garage (brandstation mv.)

Varme og varmt vand forsynes her fra en oliekedel i garagen. Olieforbruget er 18500 liter pr. år. Varmt vand ønskes opvarmet med el, og til dels solvarme, om sommeren. Der er dog alligevel et minimalt olieforbrug om sommeren.

Garagen holdes noget opvarmet året rundt af hensyn til køretøjerne. Selve garagebygningerne er dårligt isoleret.

Tårn og administration

Tårnet opvarmes og køles ved hjælp af et ventilationsanlæg placeret i tårnkælderen, kølefladen heri er koblet til et køleanlæg placeret i tårnet. Dette er den eneste vandbaserede køling i lufthavnen. Køleanlægget har et effektbehov på 7 kW. Hvis dette, som det er nævnt, er i drift hele året, svarer det til et elforbrug på 61.000 kWh pr. år.

Selve tårnet skal være ubemandet fra engang efter 2020, og kølebehovet vil derfor falde, da kølingen så kun skal beskytte serverudstyr mv.

Administrationsbygningen, under tårnet, er opvarmet med radiatorer fra kedelcentralen. Her er der ingen ventilation, men der er splitanlæg til køling placeret på taget af bygningen.

Terminalbygning

Er i denne sammenhæng inddelt i tre. Ankomst, afgang og "hos Caspers", restaurant.

Ankomst

Opvarmes med radiatorer koblet til kedelcentralen med pumper og fordelerrør i kælder.

Ventilationsanlæg med forvarmning af luft og med varmegenvinding til ankomsthallen er placeret i kælder under hallen.

Der er ingen køling.

Afgang

På samme måde som ankomsthallen, med anlæg placeret i den anden ende af bygningen.

Hos Caspers

Restauranten er opvarmet med varme fra kedelcentralen på samme måde som ankomst- og afgangshallen. Et nyt ventilationsanlæg (Exhausto) placeret på taget sørger for ventilation og er med varmegenvinding, men ikke køl. Der er ikke køl i anlægget, fordi luftstrømmen ikke er stor nok til at dække behovet.

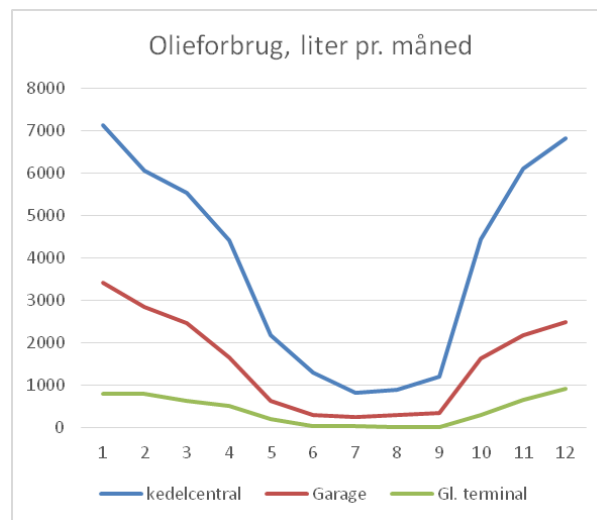
Køling er med splitanlæg (Samsung) placeret på taget over restauranten.

3 Forbrug

Olieforbruget er:

Olieforbrug Bornholm lufthavn, liter

	Kedelcentral	Garage	Gl. terminal	Sum
jan-16	7123	3408	791	11322
feb-16	6052	2856	795	9703
mar-16	5545	2455	638	8638
apr-16	4414	1659	506	6579
maj-16	2180	644	205	3029
jun-16	1302	301	30	1633
jul-16	827	248	30	1105
aug-16	895	309	10	1214
sep-16	1200	337	20	1557
okt-16	4440	1627	290	6357
nov-16	6105	2171	660	8936
dec-16	6819	2485	928	10232
Sum	46902	18500	4903	70305



Figur 2 Tabel og figur med olieforbrug for Bornholms Lufthavn i 2016.

Herudfra kan beregnes følgende varmehov:

Brændværdi olie	10,35 kWh/liter
Fyringsnytttevirking og ledningstab	0,85
Varmeforbrug i terminalbygning samt tårn- og administrationsbygning	412.620 kWh
Varmeforbrug i garage	162.754 kWh
Varmeforbrug i gl. terminal	43.134 kWh
Varmeforbrug i alt	618.508 kWh

Figur 3 Varmeforbrug beregnet ud fra olieforbrug.

På grundlag af tal leveret kan følgende forbrug til el gøres op.

Lufthavnen totalt årsforbrug	676.000 kWh
Videresalg	188.000 kWh
Bimålere	
Landingslys	15.000 kWh
Ladestandere	4.700 kWh
"Hos Caspers"	90.000 kWh
De-icing	7.600 kWh
Målt i alt	117.300 kWh
Køling i tårn og administration (7 kW)	61.320
Andet forbrug (total minus målt og køling)	309.380 kWh

Figur 4 Elforbrug, Bornholms Lufthavn.

Andet forbrug er beregnet som det samlede forbrug minus salg minus målt minus forbrug til køling i tårn. Det antages, at det øvrige forbrug går til belysning, apparater, splitanlæg, varmekanon til fly mv.

4 BIPVT-E anlæg til lufthavnen

4.1 Konklusion

Overvejelser:

Der er kun vandbaseret køling i tårnet, som ikke være vil i drift fremover og derudover køling baseret på splitanlæg med direkte køling af luften via aggregater. At konvertere splitanlæggene (placeret på taget hovedsagelig) til vandbaseret køling vil kræve dyre installationer, som det skønnes ikke er rentable på kort sigt, da installationerne er ret nye. Efterhånden som disse anlæg bygges om, eller efterhånden som der skal etableres mere køling, kan dette baseres på vanddrevet køling og potentialet for "gratis" levering af køling fra PVT-E anlægget udnyttes.

Det foreslås da, indtil videre, at basere køling på de eksisterende anlæg, hvor så el til kompressoren delvist leveres med PVT-E, suppleret med almindelige PV paneler.

Det skal undersøges nærmere, om kedelcentralen med fordel kan bevares som backup i perioder, hvor behovet er allerstørst. Dette vil betyde, at de øvrige anlæg ikke skal udlægges til at levere den dimensionerende effekt. Ambitionen her kunne være, at max 10% af behovet skal dækkes med olie.

Anlæg (forslag som udgangspunkt for videre analyse):

- > To PVT-E anlæg, et i hver ende af terminalbygningen som forsyner varme ind på de eksisterende installationer (varme, ventilation og opvarmning af brugsvand) i kælderen i terminalbygningen. PVT-E paneler hertil placeres på taget af terminalbygningen, se senere om denne placering.
- > Et PVT-E anlæg på garagen til forsyning af varme og varmt vand til denne. Paneler placeres på taget af bygningen.
- > Supplerende PV udført som overdækning på P-pladsen foran bygningen. Alternativt som PV på tagflader der ikke bruges til PVT-E.

4.2 Placering af paneler

Der er principielt to måder at placere panelerne på. 1) Som moduler placeret oven på taget, 2) Som en erstatning af taget, hvor det "gamle" tag fjernes og PVT-E modulerne erstatter disse og samtidig leverer el og varme.

Den endelige afgørelse om placering af paneler skal derfor foretages på baggrund af en vurdering af taget, idet det naturligvis ikke er en god ide at placere modulerne oven på et tag, der skal udskiftes/repareres inden for en overskuelig fremtid.

Det vurderes, at en sådan nærmere afklaring ikke er en del af pilotprojektet, som derfor foreslås udført med moduler, der monteres oven på taget. Det foreslås at gøre dette på administrationsbygningen under tårnet. Ved opførelse af demonstrationsanlægget, til forsyning af hele eller næsten hele lufthavnens forbrug, kan disse så evt. demonteres og genplaceres.

Det antages, at de nødvendige paneler i demoprojektet kan placeres på terminalbygningen på den skrå tagflade på 600 m² suppleret med paneler monteret på den vandrette tagflade på bygningen.

Paneler til garagen kan placeres på taget af denne.

5 Dimensionering af hovedkomponenter

Det foreslås altså at etablere 3 PVT-E anlæg med hver sin varmepumpe og tilhørende beholdere. Det følgende er en analyse af de 2 anlæg på terminalbygningen inklusiv tårn og administration. For nemheds skyld er analysen foretaget på ét anlæg, som så eventuelt deles i to anlæg, hvis de praktiske installationsforhold gør dette hensigtsmæssigt.

Forbruget af varme i terminalbygningen kan fastlægges ud fra olieforbruget i kedelcentralen, som forsyner denne.

Der er ikke data for elforbrugets fordeling på terminalbygning og garage. Det antages derfor, at 60% af det samlede elforbrug på 676.000 kWh bruges i terminalbygningen inklusiv tårn og administration.

Forbruget af varmt brugsvand er under en antagelse af 50% ledningstab vurderet ud fra olieforbruget om sommeren.

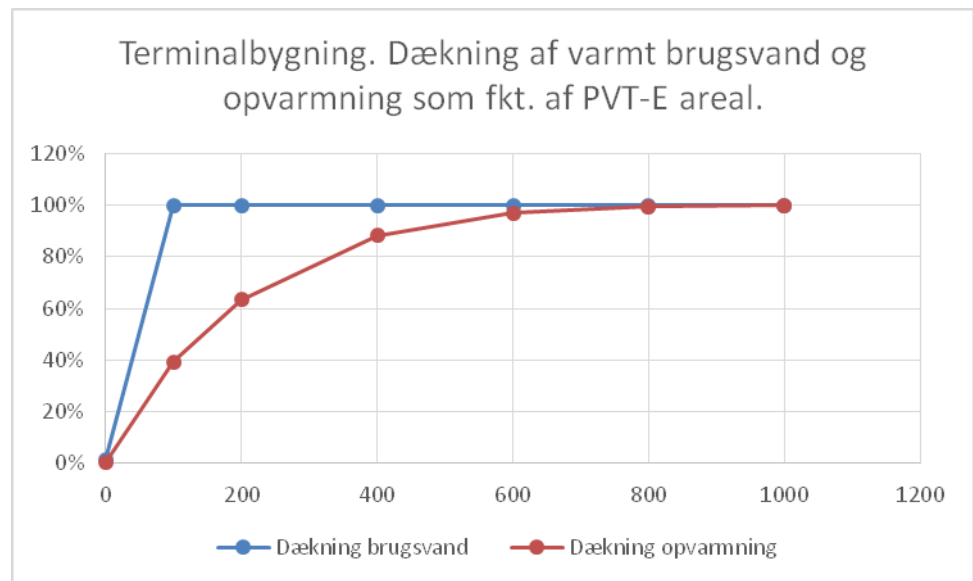
Forbruget bliver da:

- > Opvarmning 365.000 kWh pr. år
- > Varmt brugsvand 47.500 kWh pr. år

> EI 412.000 kWh pr. år

5.1 Dækning af varmeforbrug

En beregning med programmet PV-BAT videreudviklet til at regne på PVT-E anlæg giver følgende resultat: Der er regnet med en dimensionerende fremløbstemperatur på 60 °C ved en udetemperatur på -12 °C og en afkøling her på 20 °C. Det antages, at fremløbstemperaturen reguleres ideelt efter udelufttemperaturen.

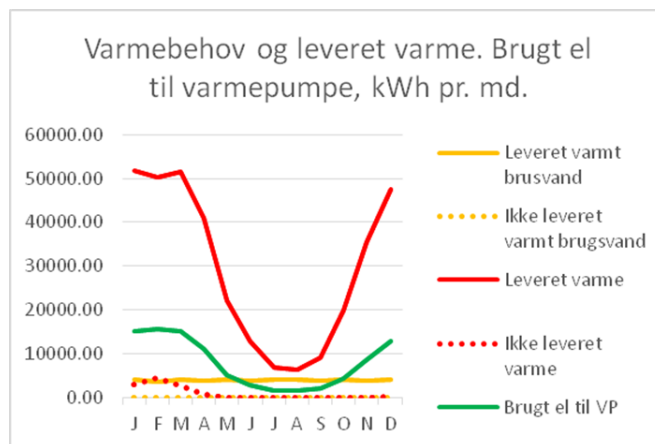


Figur 5 Dækning af varmt brugsvand og opvarmning med et PVT-E anlæg til terminalbygningen som funktion af PVT-E arealet.
Forudsætninger. PVT-E med fri bagside. Hældning 30 grader.

Det fremgår af Figur 5, at man med et PVT-E areal på 1000 m² kan dække hele varmeforbruget til terminalbygningen. Ved et areal på 600 m² kan man dække 97%. Systemet er styret sådan, at varmt brugsvand får første prioritet, derfor dækkes dette fuldt ud allerede ved et areal på 100 m² PVT-E, her dækkes så kun 40% af rumvarmeforbruget.

Der er en række forudsætninger for denne beregning. Forudsætningerne vedr. regulering af varmeafgivning er nok for ideelle og bør revurderes. Dette vil dog ikke ændre væsentligt på det nødvendige areal, men øge elforbruget til varmepumpen.

For et anlæg på 600 m² PVT-E fås følgende:

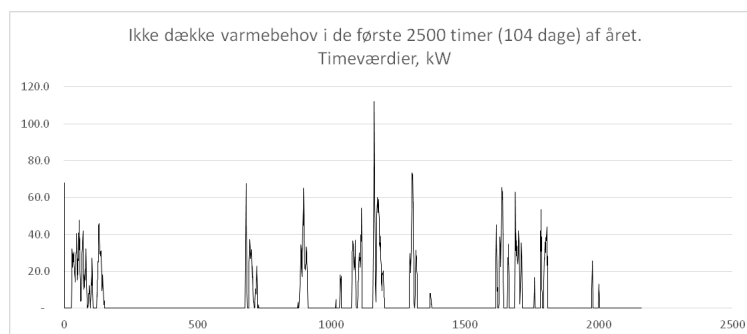


Figur 6 Dækning af varmeforbrug med 600 m² PVT-E til terminalbygningen.

Figur 6 viser dækningen med et areal på 600 m². Det fremgår, at varmeforbruget ikke dækkes helt i månederne fra januar til marts. Som det fremgår af Figur 7 kommer det ikke dækkede forbrug i perioder i de første tre måneder af året. Det er perioder med lave temperaturer, og det vil da være nødvendigt at bruge oliedlerne i disse perioder.

Med et PVT-E areal på op imod 1000 m² vil der teoretisk (dvs. i referenceåret) ikke være behov for back up. Der er dog her ikke taget højde for evt. snedækning, driftsforstyrrelser og perioder med lavere temperaturer end i referencen, hvor ekstreme situationer ikke er med.

Det er derfor anbefalet at bevare oliedlerne som back up.



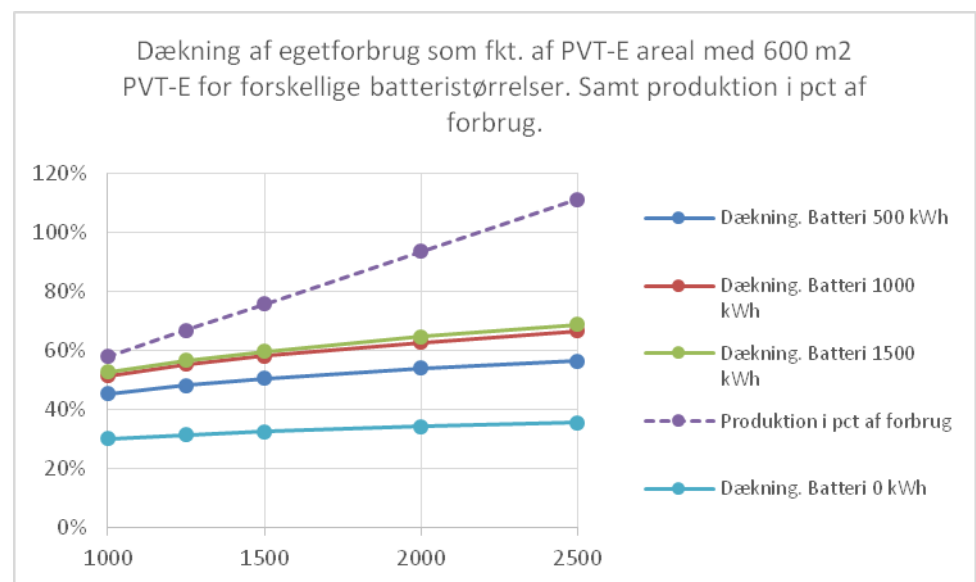
Figur 7 Ikke dækket varmebehov med anlægget med 600 m² PVT-E på terminalbygningen.

5.2 Dækning af elforbruget

Anlægget med 600 m² PVT-E vil kun dække ca. 20% af elforbruget på 412.000 kWh pr. år henført til terminalbygningen. Langt det meste af den producerede el vil kunne bruges direkte, og der er ikke behov for batterilager.

Suppleres de 600 m² PVT-E med almindelig PV, placeret som overdækning på P-pladsen, på tilgængelige tage eller på stativer på jorden, kan man opnå en meget højere dækning, og det bliver relevant at se på batterier.

Figur 8 viser beregninger med PV-BAT på denne situation. For på årsbasis at dække hele forbruget af el i terminalbygningen skal der udover de 600 m² PVT-E opføres 2200 m² PV. Man vil da uden batterilagring kun opnå en dækning af egetforbruget på 35%, resten af det producerede må sælges eller kan ikke udnyttes. Med et batterilager på 1000 kWh opnås en dækning af egetforbruget på 64%. En yderligere forøgelse af batteriet giver ingen væsentlig højere dækning. Forbruget på et gennemsnitsdøgn er 1130 kWh, så batteriets størrelse svarer ca. til et døgn forbrug.



Figur 8 Dækning af elforbruget i terminalbygningen med forskelligt areal af supplerende PV (på P-pladsen eller på taget) og forskellig batteristørrelse. Det er forudsat, at der er 600 m² PVT-E, som også producerer el.

5.3 Økonomi

Figur 9 viser et eksempel på en økonomiberegning foretaget med PV-BAT på et anlæg til terminalbygningen.

Tallene skal forstås som et eksempel, der er lavet på grundlag af en række forudsætninger, hvoraf de vigtigste er (priser er ekskl. moms, elpris inklusiv moms, hvis moms betales):

- > Pris PVT-E 2000 kr./m²

- > Pris PV 1500 kr./m²
- > Batteri 4 000 kr./kWh
- > Investering på varmedel, varmepumpe, beholdere, rør mv. 1,5 mio. kr.
- > Elpris / elpris til varmepumpe 1,60 og 1,20 kr./kWh
- > Salg af el 0,25 kr. pr. kWh
- > Værdi af varme produceret 0,80 kr. pr. kWh (svarende til varme produceret på oliedel)
- > Drift- og vedligeholdelse og reinvesteringer 1% af investeringerne pr. år.

PVT-E anlæg til Terminalbygningen, Bornholms Lufthavn						
PVT-E areal	m ²	600	600	600	600	600
PV areal	m ²	2200	2200	0	0	0
Batteri kapacitet, kWh	kWh	1000	500	1000	500	0
Dækning af egetforbrug, varme	%	97%	97%	97%	97%	97%
Dækning af egetforbrug, el	%	64%	55%	22%	22%	20%
Investeringer inkl. moms	tkr.	13.080	10.115	8.955	5.990	3.025
Heraf solceller inkl. moms	tkr.	5.625	5.625	1.500	1.500	1.500
Heraf batteri inkl. moms	tkr.	5.000	2.500	5.000	2.500	-
Heraf reinvest. i batteri	tkr.	930	465	930	465	-
Heraf investeringer i varmedel	tkr.	1.525	1.525	1.525	1.525	1.525
Driftsudgifter inkl. moms	tkr./år	790	657	839	664	502
Heraf finansiering (3% 20 år)	tkr./år	667	516	457	306	154
Heraf køb af el	tkr./år	301	373	630	630	651
Heraf salg af el (minus)	tkr./år	-46	-58	-	-	-4
Heraf værdi af varme	tkr./år	-322	-322	-322	-322	-322
Pris pr. kWh leveret	kr./kWh	1,56	1,30	1,66	1,31	0,99
Årlig udgifter med pvt-E	tkr./år	922	831	1.087	935	802
Årlige udg. uden PVT-E	tkr./år	989	989	989	989	989
Beregnet besparelse med PVT-E	tkr./år	66	157	-98	53	187
Beregnet besparelse	%	7%	16%	-10%	5%	19%
Investering pr. m ² PV+PVT	kr./m ²	4.671	3.613	14.925	9.983	5.042

Figur 9 Tabel med eksempel på økonomiberegning for PVT-E anlæg med og uden supplerende PV og med forskellig batteristørrelse.

Figur 9 viser - for de forskellige kombinationer af anlæg og batteri - en vurdering af den samlede investering og en beregning af de årlige driftsudgifter. Disse er opgjort som udgifter til finansiering, køb og salg af el, mens produktionen af varme tillægges en værdi, der svarer til varmen produceret på oliedelerne. Herudfra kan der, med en finansiering på 3% rente over 30 år,

beregnes den såkaldte LCOE (levelized cost of energy), der er beregnet som de årlige driftsudgifter divideret med den leverede mængde el. I dette tilfælde vil det være sådan, at hvis den beregnede elpris er lavere end elprisen for køb af el, så vil anlægget med PVT-E være billigere end referencen, som er intet at gøre.

Rentabiliteten fremgår også af den beregnede årlige besparelse. Denne er beregnet som de årlige udgifter til det eksisterende anlæg (uden investeringer) til energi minus de årlige udgifter med PVT-E anlægget til rente og afdrag samt køb og salg af el. Dette divideres med den leverede mængde el.

Af tabellen i Figur 9 fremgår, at anlægget med kun PVT-E uden supplerende PV giver en besparelse på 187.000 kr. pr. år og dækker 97% af varmemeforbruget samt 20% af elforbruget. De årlige driftsudgifter reduceres med 19%.

Hvis dette suppleres med 2200 m² PV og et batteri på 1000 kWh fås en dækning på 97% af varmemeforbruget og 64% af elforbruget, og en besparelse på 66.000 kr. pr. år. Dette udgør en reduktion i de årlige udgifter på 7%. Anlægget har på årsbasis produceret ligeså meget el, som der bruges, men 33% af produktionen sælges til 25 øre pr. kWh. En sådan indtægt forudsætter dog, at lufthavnen kan indgå en salgsaftale, f.eks. med BEOF.

Et tilsvarende anlæg med et halvt så stort batteri giver en noget mindre dækning af egetforbruget på 55%, men en noget større besparelse på 157.000 kr.

Disse resultater skal revideres på grundlag af mere præcise prisdata. Det fremgår også, at investering i solceller og batterier er dominerende. Der er her regnet med dagens priser, og det er kendt, at disse priser er stærkt faldende.

5.4 Anlæg på garagen og Gl. terminal

Ovenstående analyse kan gentages for anlæg til garagen og for den gamle terminal. Dette vil ikke blive gjort i detaljer her, men følgende tal, beregnet ved proportionalitet, kan bruges som udgangspunkt.

For garagen kan et PVT-E anlæg på omkring 250 m² forsyne varme og varmt brugsvand, mens et supplerende PV areal på omkring 1600 m² vil medføre, at der på garagen produceres samme mængde el, som der bruges, under forudsætning af, at 40% af det totale elforbrug ligger i garagen.

Et PVT-E anlæg på under 100 m² kan forsyne den gamle terminal.

For at dække hele lufthavnens behov el og varme på årsbasis skal der altså følgende arealer til.

- > PVT-E 850 m² (vil dække 97%)

> Supplerende PV 3700 m²

Dette anlæg vil dække 97% af varmebehovet og på årsbasis producere samme mængde el som lufthavnen og varmepumperne bruger. Der vil naturligvis være et overskud af el om sommeren som eventuelt kan sælges og et underskud om vinteren som må købes. Dækningen af egetforbruget af el vil være 64%. De sidste 3% af varmebehovet dækkes af oliekedlerne.

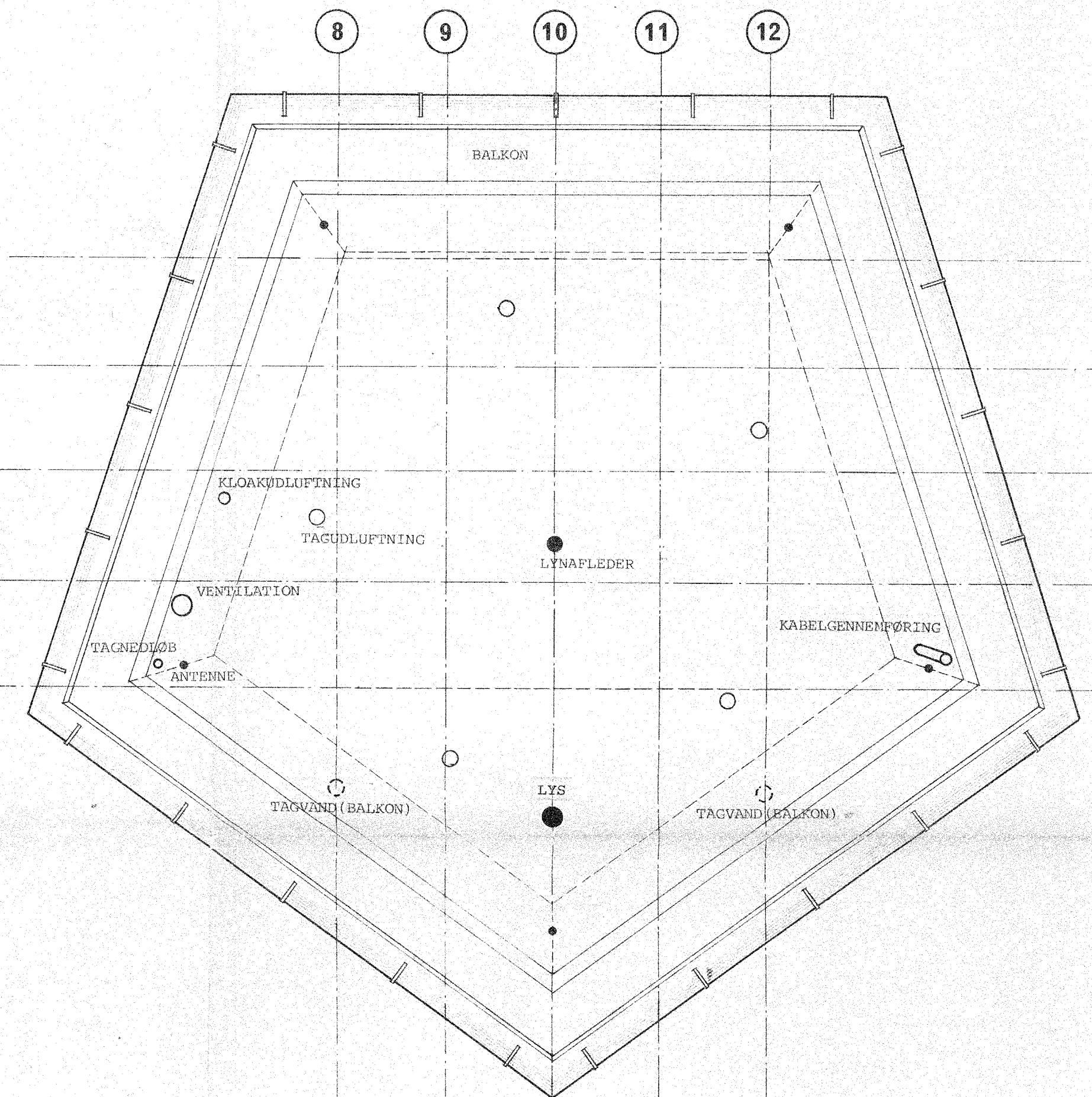
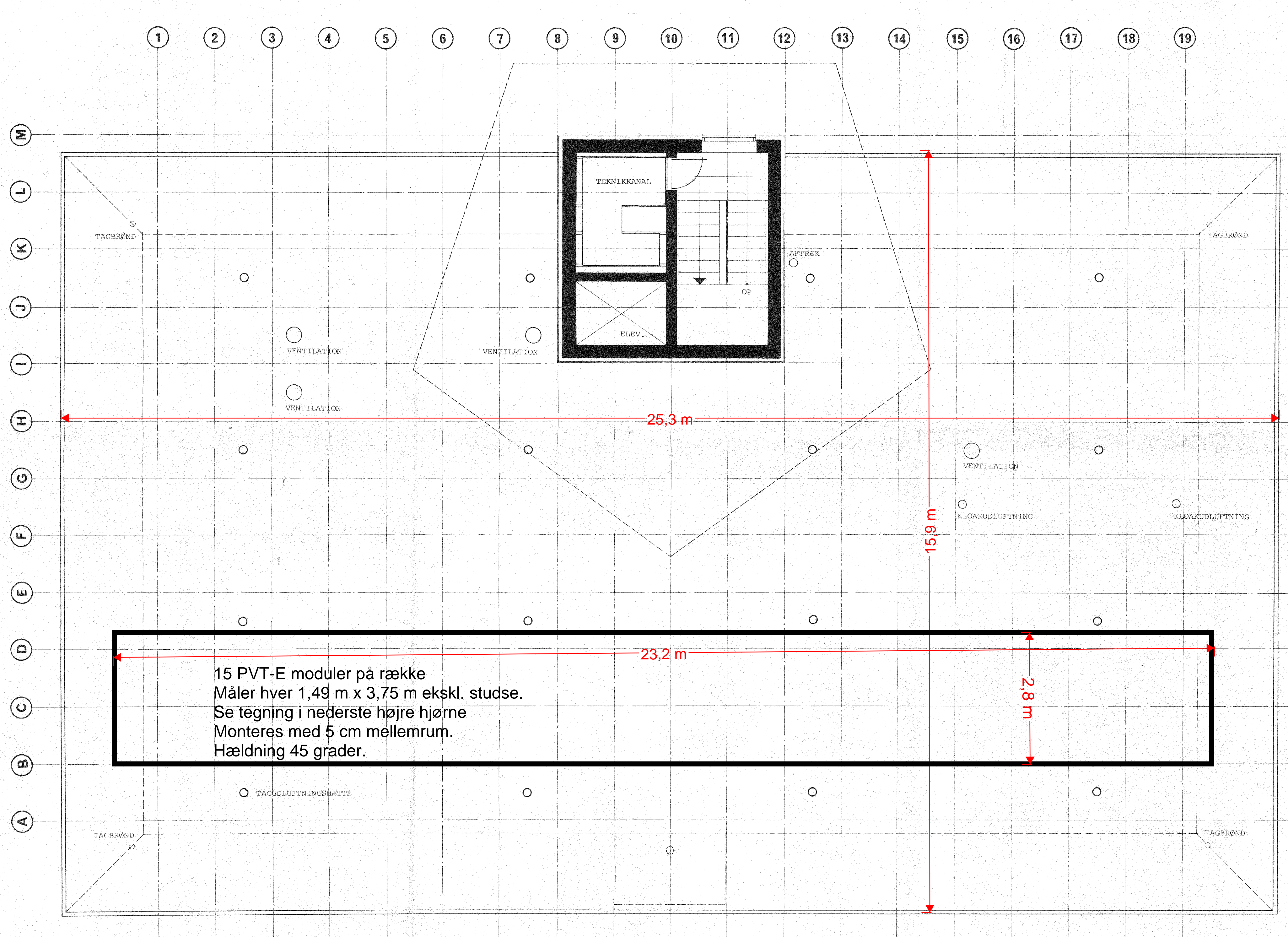
6 Forslag til placering

Idet bruttoetagearealet af terminalbygningen er oppe omkring 3000 m², vil det ikke være muligt at placere samtlige 2800 m² (PVT-E plus PV) til terminalbygningen på taget her. De 600 m² PVT-E kan muligvis placeres på den skrå sydvendte del af tagfladen.

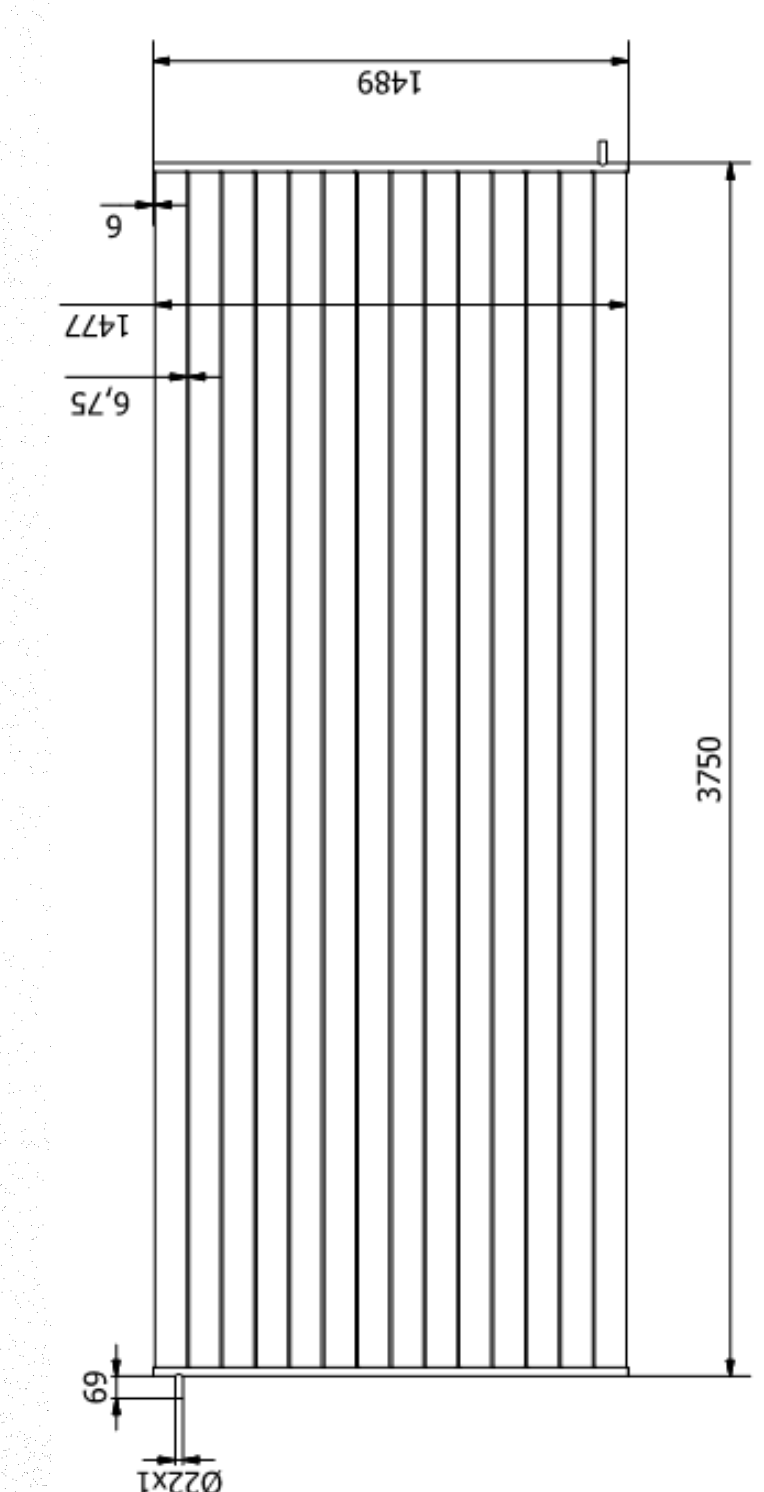
Bruttoetagearealet af P-pladsen nærmer sig 5000 m², og hvis en del af denne ønskes overdækket med PV, kan man formodentlig indpasse de 2200 m² her.

Garagen har et tagareal på op imod 2000 m². Det gælder tilsvarende her, at der er rigelig plads til nødvendigt PVT-E, men knapt plads hvis man ønsker at dække hele behovet for el.

Supplerende PV kan ligeledes placeres på jorden. Potentielt kan hele Bornholms elforbrug produceres på et areal på godt en km² PV, hvilket vist er mindre end det areal, lufthavnen fylder. Så potentialet for produktion og salg er stort.



15 PVT-E moduler på række
 Måler hver 1,49 m x 3,75 m ekskl. studse.
 Se tegning i nederste højre hjørne
 Monteres med 5 cm mellemrum.
 Hældning 45 grader.



TAGPLAN.

BYGNING, RØNNE LUFTHAVN
 TEGN. NR. A 1.03 MAL. 1:50

BYGHERRE	STATENS LUFTFARTSVÆSEN	GL. KONGEVEJ 60 1850 KBHVN. V. (01) 31 48 48
ARKITEKT	ARKITEKTFIRMAET JØRGEN HAMMELBOE	HØVEDVEJEN 126 2610 GLOSTRUP (02) 45 92 22
INGENIØR	ISC RÅDGIVENDE CIVILINGENIØRER A/S	NØRRE FARIMAGSGADE 3 1364 KBHVN. K. (01) 14 62 20
DATE	1.8.76	REV