



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Energimæssig opgradering af eksisterende pavilloner

Energibesparelspotentiale

Rose, Jørgen

Publication date:
2013

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rose, J. (2013). *Energimæssig opgradering af eksisterende pavilloner: Energibesparelspotentiale*. SBI forlag. SBI Bind 2013 Nr. 15

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Energimæssig opgradering af eksisterende pavilloner

Energibesparelspotentiale



Energimæssig opgradering af eksisterende pavilloner

Energibesparelspotentiale

Jørgen Rose

Titel	Energimæssig opgradering af eksisterende pavilloner
Undertitel	Energibesparelspotentiale
Serietitel	SBi 2013:15
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2013
Forfattere	Jørgen Rose
Sprog	Dansk
Sidetæl	31
Litteratur-henvisninger	Side 26
Emneord	Eksisterende midlertidige flytbare pavilloner, energibesparelspotentiale, udskiftning af isolering, efterisolering, nye vinduer, varmepumper, fjernvarme, solceller
ISBN	978-87-92739-37-7
Omslag	Bagsværd Skole. Foto: CP ApS.
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, DK-2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af en Videnkupon bevilget af Forsknings- og Innovationsstyrelsen til CP ApS til gennemførelse af projektet 'Energimæssig opgradering af eksisterende pavilloner', hvor Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København fungerer som videninstitution.

Det er projektets formål at afdække mulighederne for energimæssig opgradering af den eksisterende flåde af pavilloner og herunder undersøge mulighederne for med forskellige virkemidler at opnå en ønsket sænkning af energiforbruget i pavillonerne.

Rapporten består af en kortfattet beskrivelse af formål og metode, en gennemgang af de udførte analyser, behandling og vurdering af resultater samt en konklusion og anbefaling vedrørende fremtidige energikrav i Bygningsreglementet.

Projektet er udført af seniorforsker Jørgen Rose fra Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København samarbejde med Peter Jakobsen fra CP ApS.

Arbejdet påbegyndtes primo oktober 2012.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og miljø
Maj 2013

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Indholdsfortegnelse	4
Sammenfatning	5
Reduktion af energiforbruget	5
Økonomi.....	6
Konklusion.....	6
Formål.....	7
Metode.....	8
Beskrivelse af eksisterende pavilloner.....	8
Konstruktioner	9
Systemer	10
Bygningsreglementets krav til pavilloner	11
Eksempler på typiske pavillonopstillinger	12
Institutionsbyggeri	13
Mandskabsfaciliteter.....	14
Problemformulering.....	16
Energibesparende foranstaltninger	17
Klimaskærm	17
Ydervæg	18
Loft.....	18
Gulv	18
Vinduer	18
Sammenfatning	19
Systemer	19
Ventilation.....	19
Opvarmning og varmt brugsvand.....	19
El-produktion til dækning af varmebehov (solceller)	21
Øvrige tiltag	21
Kombinationer af energibesparende tiltag.....	21
Økonomi	23
Udskiftning af isolering i ydervæg, loft og gulv	23
Udvendig efterisolering af ydervæg, loft og gulv.....	23
Udskiftning af vinduer	24
Luft-vand varmepumpe med gulvvarme	24
Luft-luft varmepumpe	25
Fjernvarme	25
Solceller	25
Referencer	26
Appendiks A.....	27

Sammenfatning

Midlertidige flytbare pavilloner benytter oftest direkte elvarme til opvarmning og produktion af varmt brugsvand. I forbindelse med beregning af energibehovet anvendes en energifaktor for el på 2,5 (mod 1,0 for hhv. olie, naturgas og fjernvarme), og dermed er energibehovet i pavillonbyggeri ofte højt sammenlignet med det permanente byggeri.

Nærværende rapport har derfor haft til formål at vurdere, i hvilken udstrækning det vil være muligt at reducere energibehovet i eksisterende midlertidige, flytbare pavilloner.

Reduktion af energiforbruget

Der er i rapporten betragtet to eksempler på pavillonbygninger, som begge opfylder nugældende bygningsreglements krav til midlertidige flytbare pavilloner. Betragter man de beregnede energibehov for eksempelbygningerne, er det tydeligt, at den direkte el-opvarmning er den primære årsag til de relativt høje niveauer.

Analyserne af mulige energiforbedringer viser, at forbedringer af klimaskærmens isolering, enten ved udskiftning til materiale med lavere varmeledningsevne eller ved udvendig efterisolering, kan reducere energibehovet med hhv. 17 % og 12 %. På samme måde vil udskiftning af vinduerne kunne reducere energibehovet med ca. 17 – 19 %. Gennemgangen af mulige kombinationer af tiltag viser dog, at en del af potentialet forsvinder, når flere tiltag kombineres, f.eks. reduceres besparelsen for vinduerne til ca. 14 %, hvis der allerede er foretaget en bedre isolering af de øvrige klimaskærmskonstruktioner.

Besparelspotentialerne ved udskiftning af opvarmningsformen (direkte elvarme) til hhv. fjernvarme, luft-vand varmepumper eller luft-luft varmepumper er væsentligt højere, end hvad der kan opnås ved optimering af klimaskærmens isoleringsgrad. Ved skift til enten fjernvarme eller luft-vand varmepumpe, reduceres energibehovet stort set til et niveau svarende til energirammekravet, som gælder for permanent byggeri. Ved skift til luft-luft varmepumper reduceres energibehovet til et niveau, hvor en kombination med samtidig bedre isolering af klimaskærmen eller udskiftning af vinduerne vil kunne bringe energibehovet ned under kravet til permanent byggeri. Det er dermed tydeligt, at opvarmningsformen spiller den afgørende rolle for energiforbruget i bygninger opbygget af midlertidige, flytbare pavilloner (MFP).

Analyserne viser også, at anvendelse af solceller kan give væsentlige reduktioner i det samlede energibehov, men at der skal forholdsvis store solcellearealer til (mere end 300 m², hvis solceller betragtes som enkelttiltag) for at nå energirammekravet for permanente bygninger. For institutionsbyggeriet kan energirammekravet for permanente bygninger f.eks. opfyldes, hvis man både udskifter isoleringen i klimaskærmen og vinduerne og samtidig opsætter 90 m² solceller.

Økonomi

De økonomiske analyser, der er gennemført i nærværende rapport viser, at der er meget stor forskel på energispareprisen for hvert enkelt tiltag. Prisen varierer fra 0,6 kr./kWh til 7,9 kr./kWh.

Den dyreste løsning er udskiftning af den eksisterende isolering til et materiale med lavere varmeledningsevne. Årsagen til at dette tiltag har en så relativt dårlig økonomi er, at udskiftningen af isoleringen koster ca. 40 % af nyprisen for pavillonmodulerne. I denne sammenhæng er det primært selve arbejdet med at udskifte isoleringen, der er dyrt, og ikke selve materialet.

Udvendig efterisolering har en energisparepris på 3,2 kr./kWh, og heri er der ikke taget højde for, at den udvendige isolering i et vist omfang ville skulle fjernes i forbindelse med nedtagning, flytning og genopstilling af pavillonerne. Medtages dette, vil løsningen blive væsentligt dyrere.

Udskiftning af vinduer har en energisparepris på 1,1 kr./kWh, og dette er det eneste tiltag som vedrører klimaskærmen, hvor prisen på at spare en kWh er lavere end selve energiprisen (ved elvarme).

De løsninger, som giver den laveste energisparepris, er overgang til hhv. luft-luft varmepumpe, overgang til luft-vand varmepumpe eller anvendelse af solceller til delvis dækning af det samlede elbehov. Disse tre løsninger giver energisparepriser på mellem 0,6 – 0,7 kr./kWh, dvs. priser som er sammenlignelige med den typiske pris på fjernvarme.

Konklusion

Nærværende rapport har analyseret mulighederne for at gennemføre en energimæssig opgradering af eksisterende MFP'er.

Analyserne har vist, at de største besparelspotentialer, som forventet, ligger i en ændring af opvarmningsformen fra direkte elvarme til f.eks. luft-vand varmepumper. Anvendelse af luft-vand varmepumper indebærer, at der skal lægges gulvvarme i alle de eksisterende pavilloner, og dette vil naturligvis medføre en række praktiske problemer, som skal håndteres og kræve en investering i forbindelse med etableringen.

Herudover er der en række andre forhold, som bør overvejes inden fremtidige skærpede energikrav opstilles:

- MFP har en gennemsnitlig levetid på ca. 20 år, hvor det permanente byggeri typisk har en levetid på 50-100 år. I løbet af de 20 år er pavillonerne i brug (opstillet) ca. 80 % af tiden.
- MFP opstilles, nedtages og opstilles igen i nye kombinationer, og derfor bør krav stilles på en måde, så eksisterende pavilloner, også vil kunne indgå i 'nye' bygninger, der opføres de kommende 20 år.
- Skærpede krav bør stilles sammen med forventede fremtidige krav ved kommende revision af Bygningsreglementet (f.eks. 2020 osv.).

For at imødekomme fremtidige udfordringer i forbindelse med energibehovet i midlertidige flytbare pavilloner, kunne det overvejes at indføre et energirammekrav.

Formål

Kravene til midlertidige, flytbare pavilloner (MFP) forventes med Bygningsreglementet 2015 at blive skærpet sådan, at pavillonerne fremover skal præstere bedre energimæssigt, end de gør i dag. Det indebærer, at i alt ca. 10.000 pavillonenheder til en værdi af ca. 2 mia. kroner skal opgraderes energimæssigt. Kravene til eksisterende pavilloners klimaskærm forventes ikke at blive påvirket af de nye krav, hvorfor energiforbedringerne primært skal findes i varmeteknologien og eventuelt gennem produktion af vedvarende energi (VE), fx i form af solceller, direkte fra pavillonerne.

Det er projektets formål at afdække mulighederne for energimæssig opgradering af CP ApS' eksisterende flåde af pavilloner og herunder undersøge mulighederne for med forskellige virkemidler at opnå en ønsket sænkning af energiforbruget i pavillonerne.

Forskellige alternative opvarmningsteknologier vurderes for at få et samlet overblik over de samlede energimæssige konsekvenser ved at anvende teknologierne. Bl.a. vil varmepumper, vandbåren opvarmning, el-paneler, naturgas og tilslutning til fjernvarme blive undersøgt for at afdække teknologiernes konkrete energimæssige kvaliteter og for at afdække under hvilke omstændigheder, de enkelte teknologier er mest hensigtsmæssige. Her tænkes dels på tilgængeligheden af VE-strøm dels på opstillingens varighed sammenholdt med udgiften til tilslutning til fjernvarme eller anden vandbåren løsning.

Som en del af projektet undersøges de tekniske og økonomiske muligheder forbundet med lokal VE-produktion fra pavillonerne i form af solpaneler.

Endelig skal projektet afdække, hvorvidt andre tekniske løsninger kan spille en væsentlig rolle for at nedbringe energiforbruget fra pavillonerne. Det kan være anvendelse af bedre vinduer eller varmegenvinding.

Metode

I forbindelse med analysen af mulighederne for energimæssig opgradering af eksisterende midlertidige pavilloner, benyttes eksempler på bygninger som repræsenterer typiske pavillonopstillinger. Der gennemføres beregninger på et institutionsbyggeri og et mindre byggeri som benyttes som mand-skabsfaciliteter. I forbindelse med nærværende analyse er bygningerne tilpasset til formålet, således at de netop opfylder de krav som stilles i Bygningsreglementet (BR10, 2010). I det følgende er givet en generel beskrivelse af midlertidige flytbare pavilloner, dernæst er opstillet Bygningsreglementets krav til MFP og til sidst er givet en kortfattet beskrivelse af de eksempelbygninger som anvendes i analyserne.

Beskrivelse af eksisterende pavilloner

CP ApS' pavillonbyggeri opbygges af moduler som har en bredde på mellem 3,88 – 3,95 m, en længde på 10,065 m og en højde på 3,35 m. Modulerne kan sammensættes på et utal af måder, og i appendiks A er vist en oversigt over CP ApS' udbud af pavillon-moduler. De enkelte moduler kan herudover tilpasses til specifikke situationer, så lejerens behov i forhold til bygningen tilgodeses.

Modulerne transporteres på lastbil, og modulstørrelsen (4 x 10 m) er tilpasset sådan at et modul kan transporteres på en lastbil. I nedenstående boks er reglerne for transporten opsummeret:

Ved transport af pavilloner, skal der søges specieltilladelse/strækningstilladelse hos politiet hvis pavillonen er enten mere end 3,60 meter bred eller 4,15 meter høj, og der skal i så fald benyttes 1 følgebil til transporten.

Hvis pavillonen er mere end 4,50 m bred skal der bruges 2 følgebiler (1 foran og 1 bagved).

Der stilles særlige krav til følgebilernes udformning, farve og udrustning mv., og føreren af bilen skal kunne færdiggøre transporten af pavillonbilen.

Alle transporter som beskrevet ovenfor må ikke køres i tidsrummene fra 06.00 – 09.00 og fra 15.00 – 18.00.

Prisen for følgebiler er ca. kr. 2.000,00 pr. følgebil pr. tur.

Udover de ovenfor beskrevne regler, er der i forbindelse med ekstra højde på transporterne ligeledes hensynet til de danske vejbroer. Kravene til broerne er 4,20 m højde på landevejsbroer og 4,50 m højde på motorvejsbroer, med mindre andet er angivet. Der er imidlertid en lang række landevejsbroer som er lavere end 4,20, hvilket kan medføre at ruter med særligt høje pavillonmoduler kan kræve særlig planlægning ift. ruter.

I figur 1 nedenfor er vist et eksempel på, hvordan et pavillonmodul læsses af og placeres/sammensættes med øvrige moduler.



Figur 1. Pavillonmodul aflastes, placeres og 'bygges' sammen med de øvrige moduler. (Foto: Jørgen Rose).

Pavillonerne leveres (som det også fremgår af ovenstående billede) med færdige konstruktioner og vinduer monteret, og den primære opgave i forhold til klimaskærmen ligger derfor i at tætte samlingerne. I det følgende er beskrevet de typiske klimaskærmskonstruktioner for modulerne.

Konstruktioner

Tagkonstruktion: U -værdi 0,15

- 2 lag tagpap
- 12 mm krydsfiner
- 19 mm spredt forskalling
- 20 mm isolering
- 95 x 45 mm opskalkning for tagfald (ved fladt tag)
- 95 mm isolering
- 150 x 50 mm konstruktionstræ c/c 600 mm
- 150 mm isolering kl. 37
- Dampspærre
- 50 mm akustikloft af typen Ecophon "modus" kl. 33 ophængt i skinner

Ydervægskonstruktion: U -værdi 0,19 W/m^2K

- 8 mm grå rockvit
- 22 mm klinkbeklædning/8mm grå rockvit i vinduesbånd
- 12 mm OSB plade
- 145 x 45 mm regler c/c 600 mm
- 45 x 45 mm lægte
- 45 + 145 mm Isolering kl. 37
- 0,15 mm plastfoliemembran
- 12 mm spånplade OSB
- 13 mm gipsplade med film monteret i skinner

Gulvkonstruktion/etageadskillelse: U -værdi 0,17 W/m^2K

- 2,5 mm linoleum
- 22 mm spånplade
- 45 x 220 mm konstruktionstræ c/c 400 mm
- 200 mm isolering kl. 32
- 20 mm kantisolering kl. 32
- 9 mm krydsfiner

Tagkonstruktion/etageadskillelse: U -værdi 0,15 W/m²K

- 2 lag tagpap
- 12 mm krydsfiner
- 19 mm spredt forskalling
- 19 mm isolering
- 150 x 50 mm konstruktionstræ c/c 600 mm
- 150 mm isolering kl. 37
- 2 x 15 mm brandgips i etageadskillelsen
- dampspærre
- 50 mm akustikloft af typen Ecophon "modus" kl. 33 ophængt i skinner

Skillevægge (bærende)

- 13 mm gipsplade med film monteret i skinner
- 12 mm spånplade
- 45 x 95 mm regler c/c 600 mm
- 95 mm isolering kl. 37
- 12 mm spånplade
- Evt. 12 mm vådrumspanel i badezoner

Skillevægge (ikke bærende)

- 13 mm gipsplade med film monteret i skinner
- 12 mm spånplade
- 45 x 45 mm regler c/c 600 mm
- 50 mm isolering kl. 37
- 12 mm spånplade
- 13 mm gipsplade med film monteret i skinner
- Evt. 12 mm vådrumspanel i badezoner

Vinduer og døre: U -værdi 1,40 W/m²K

- g-værdi: 0,63
- Ramme/karm: Træ-aluminium

Konstruktionerne er altså generelt rimeligt velisolerede, og niveauerne svarer nogenlunde til de krav der stilles til tilbygninger i Bygningsreglementet.

Systemer

De systemer som anvendes i pavillon-byggerier varierer naturligvis efter hvilken type anvendelse der er tale om.

Varme og varmt brugsvand

Varmeanlægget er typisk baseret på direkte el-opvarmning ved radiatorer og varmt brugsvand produceres i en varmtvandsbeholder med el-patron. Et eksempel på en typisk varmtvandsbeholder kan ses i figuren nedenfor.



Figur 2. Eksempel på el-vandvarmer (Metrotherm, www.metrotherm.dk).

Ventilation

Ventilationen kan normalt udføres som enten naturlig ventilation, mekanisk ventilation eller kombinationer af disse. Der etableres altid mekanisk udsugning i forbindelse med køkkener, toiletter og badeværelser.

Ved mekanisk ventilation opsættes individuelle ventilationsenheder for hvert rum, typisk i væggen i forbindelse med vinduerne (placeret over disse). Et eksempel på denne type enhed er vist i figur 3.



Figur 3. Eksempel på ventilationsenhed (Airmaster 800 – www.airmaster.dk)

Ventilationsenhederne har indbygget varmegenvinding (modstrømsvarmeveksler) med en temperaturvirkningsgrad på 85 %, og er samtidig monteret med el-varmeblæser til forvarmning af luften efter behov.

Bygningsreglementets krav til pavilloner

Bygningsreglementet stiller krav om at midlertidige flytbare pavilloner (hvor midlertidig betyder 0-3 år) opfylder komponentkrav til klimaskærmen, svarende til nedenstående tabel.

Tabel 1. Bygningsreglementets komponentkrav til klimaskærmen for midlertidige flytbare pavilloner.

Skema med U-værdier for pavilloner	W/m ² K
Ydervægge	0,20
Skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 5 K lavere end temperaturen i det aktuelle rum.	0,40
Terrændæk og etageadskillelser over det fri eller ventileret kryberum.	0,12
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, flade tage og skråvægge direkte mod tag.	0,15
Vinduer herunder glasvægge, yderdøre, porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 5 K lavere end temperaturen i det aktuelle rum (gælder ikke ventilationsåbninger på under 500 cm ²)	1,50
Ovenlysvinduer og ovenlyskupler.	1,80
Linjetab	W/mK
Fundamenter	0,20
Samling mellem ydervæg, vinduer eller yderdøre, porte og lemme	0,03
Samling mellem tagkonstruktion og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler	0,10

Det er en betingelse for anvendelsen af U-værdierne og linjetabene i tabellen, at det samlede areal af vinduer og døre ikke overstiger 22 % af det opvarmede etageareal.

U-værdier og linjetab kan ændres og vinduesareal m.v. forøges, hvis pavillonens varmetab ikke derved bliver større, end hvis kravene i tabellen var opfyldt. Dette svarer altså til at varmetabsrammen i stedet opfyldes.

Herudover skal MFP naturligvis også opfylde krav til øvrige komponenter, dvs. varmeanlæg (effektiviteter, elforbrug osv.), ventilationsanlæg (elforbrug, varmegenvindingsgrad mv.), varmt brugsvand (varmetab osv.), rør (isoleringsstykker osv.). Med hensyn til varmeanlæg har man dog tilladt, at MFP kan opvarmes med direkte elvarme frem til 2015.

Eksempler på typiske pavillonopstillinger

I forbindelse med projektet, er der lavet en rundspørge blandt virksomheder der udlejer pavillonmoduler for at kortlægge nogle statistiske informationer om f.eks. typiske anvendelser, hvor længe pavillonerne står, priser osv.

Undersøgelsen viser, at man kan opdele anvendelserne i 3 kategorier; Kontor, institution og andet. Følgende gennemsnitlige fordeling optræder:

Tabel 2. Fordeling af anvendelse for pavilloner.

Bygningsstype	Andel i %
Kontor	50
Institution	40
Andet	10

I (Kryger, 2011) angives det, at der opstilles ca. 30.000 m² pavilloner i Danmark om året. Sammenholdes dette med tabellen, svarer det altså til at der opstilles ca. 15.000 m² kontorbyggeri, 12.000 m² institutionsbyggeri og 3.000 m² til anden anvendelse. Virksomhederne angiver, at størstedelen, dvs. ca. 70-80 %, opstilles for offentlige myndigheder.

Virksomhederne angiver derudover, at den gennemsnitlige opstillingstid for de midlertidige pavillonløsninger er ca. 18 måneder. I dette gennemsnit er ikke medtaget pavilloner som står længere end de tilladte 3 år, hvilket sker relativt ofte. Når pavilloner står længere end 3 år, skal de som udgangspunkt overgå til permanent byggeri og gennemgå en energimæssig opgradering, men oftest bliver der givet dispensation fra denne regel, så pavillonerne kan blive stående uden ændringer.

Den gennemsnitlige størrelse på opstillingerne er ca. 320 – 360 m², hvilket svarer til ca. 8 – 9 pavillonmoduler.

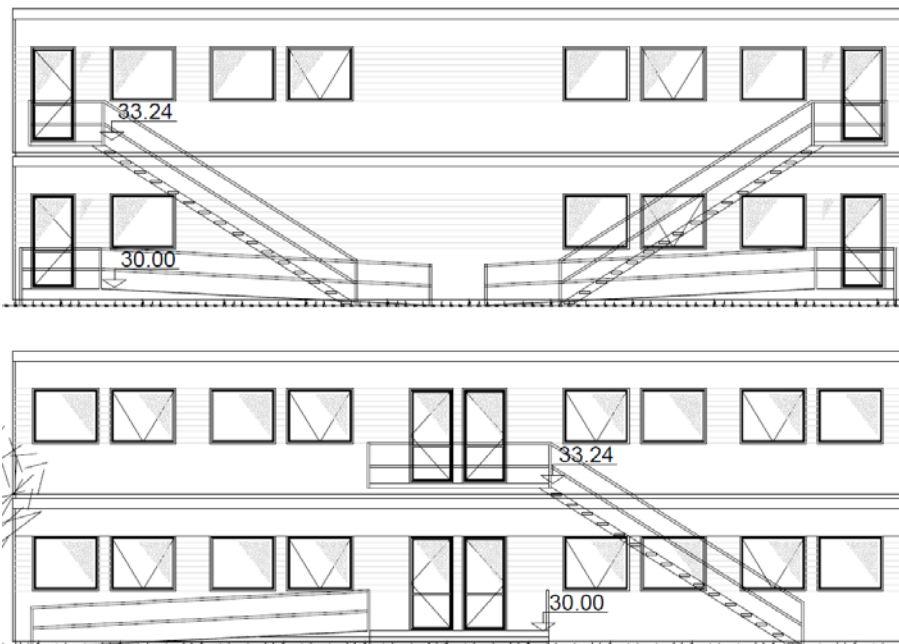
Endvidere kan nævnes, at det koster ca. 225.000 – 300.000 at producere et pavillonmodul, dvs. i gennemsnit ca. 7.000 kr. pr. m², og de udlejes typisk til en pris på mellem 100 – 135 kr. pr. m² pr. måned. Den gennemsnitlige levetid for en pavillon er ca. 20 år, hvoraf de første 10-15 år er afskrivning. Levering, opstilling og sammenbygning af modulerne afhænger meget af den konkrete opgave, men i et eksempel på et 640 m² kontorbyggeri kostede denne del af opgaven ca. 550 kr. pr. m², svarende til ca. 22.000 kr. pr. pavillonmodul.

Virksomhederne producerer hver især i gennemsnit ca. 50 nye pavilloner pr. år, svarende til ca. 2000 m² pr. virksomhed. Samtidig udgår ca. 10 pavilloner pr. år, svarende til ca. 400 m² pr. virksomhed.

I forbindelse med analysen af mulighederne for at opgradere den eksisterende flåde af midlertidige flytbare pavilloner, benyttes eksempler på pavillonopstillinger som repræsenterer typiske anvendelser, dvs. hhv. et institutionsbyggeri og et byggeri med anden anvendelse. Kontorbyggeri kan i energimæssig henseende sidestilles med institutionsbyggeri, og derfor gennemføres der ikke separate beregninger på kontorbyggeri. I det følgende gives en kortfattet beskrivelse af de to opstillinger. De beregnede energibehov for opstillingerne er fastlagt med udgangspunkt i de typiske konstruktioner og systemer (der er hermed ikke tale om konkrete sager), og dermed afspejler de beregnede energibehov situationer som netop opfylder kravene til MFP i bygningsreglementet.

Institutionsbyggeri

Institutionsbyggeriet består af 4 bygninger á 10 pavillonmoduler. Hver bygning er opbygget med 2 x 5 moduler stillet ovenpå hinanden. Hver bygning har et opvarmet etageareal på 304,6 m². I beregningerne betragtes udelukkende én af bygningerne, svarende til en bygning med almindelige klasselokaler, lærerværelse, teknik, toiletter og garderobe. I det følgende er vist bygningens facader og en plantegning.



Figur 4. Facader. Institutionsbyggeri bestående af 10 pavillonmoduler i 2 etager.



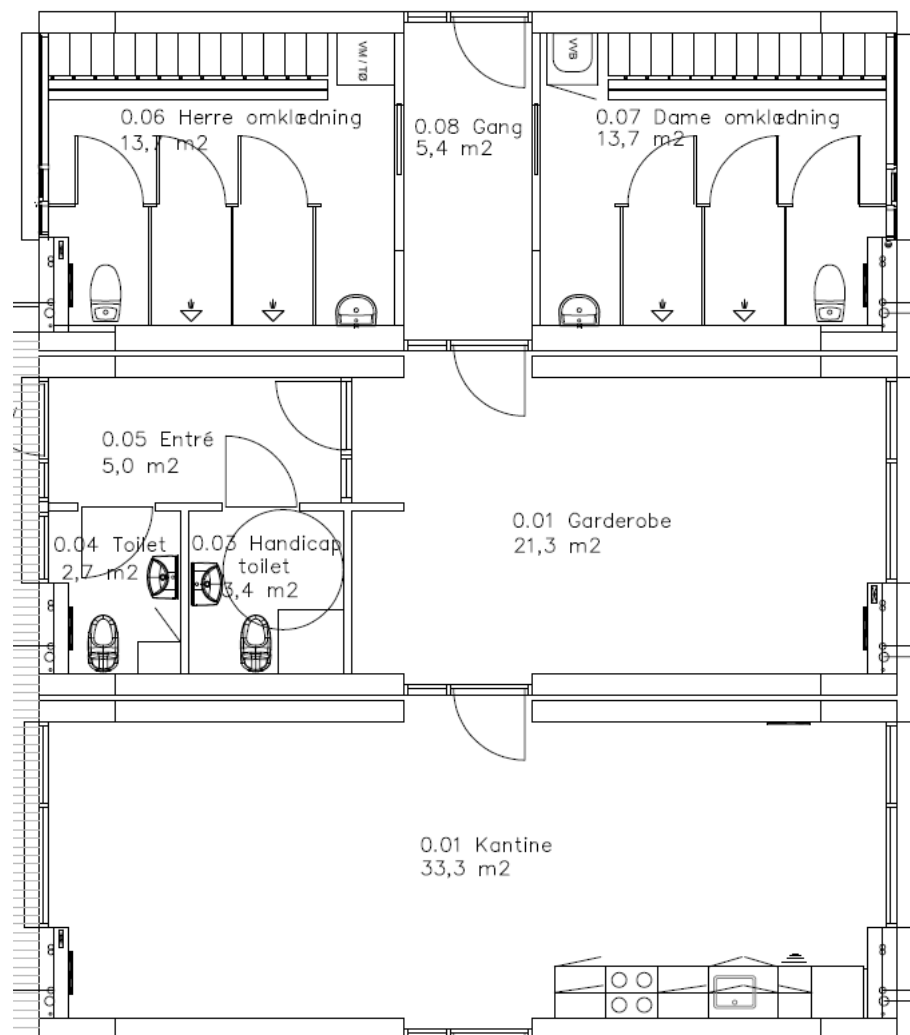
Figur 5. Plantegning. Institutionsbyggeri bestående af 10 pavillonmoduler i 2 etager.

Energibehovet for bygningen beregnes til 182,9 kWh/m² pr. år. Til sammenligning kan nævnes at energirammen for en tilsvarende permanent bygning er 76,7 kWh/m² pr. år. Værdierne kan naturligvis ikke sammenlignes direkte, idet MFP normalt er baseret på 100 % el, og permanente bygninger typisk, af hensyn til opfyldelsen af energirammekravet, reducerer elforbruget mest muligt.

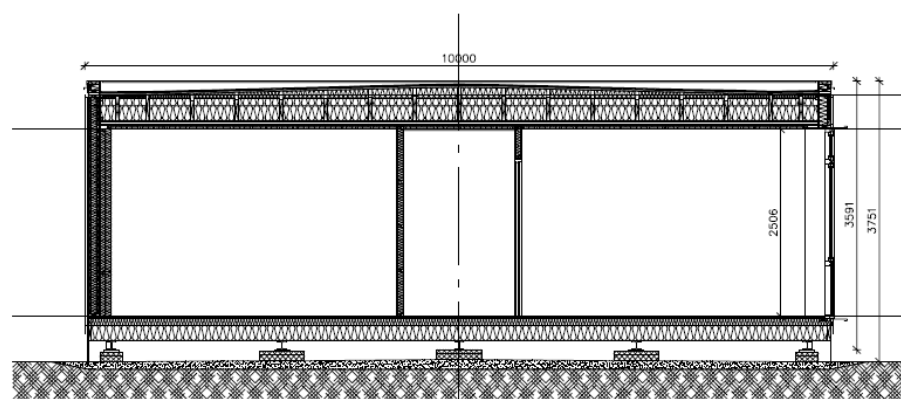
Mandskabsfaciliteter

Mandskabsfaciliteterne er et eksempel på en anden anvendelse, og som allerede nævnt udgør disse andre anvendelser kun en relativt lille del af den samlede anvendelse for midlertidige flytbare pavilloner.

I figur 6 er vist en plantegning af bygningen som består af i alt 3 pavillonmoduler. Figur 7 og figur 8 viser hhv. en snittegning og bygningens facader.



Figur 6. Plantegning af opstilling til mandskabsfaciliteter bestående af 3 pavillonmoduler.



Figur 7. Snittegning. Mandskabsfaciliteter.



Figur 8. Facader. Mandskabsfaciliteter.

Bygningen har et opvarmet etageareal på $119,7 \text{ m}^2$.

Energibehovet for bygningen beregnes til $254,4 \text{ kWh/m}^2$ pr. år, og til sammenligning kan nævnes at energirammen for en tilsvarende permanent bygning er $85,1 \text{ kWh/m}^2$ pr. år. Som nævnt tidligere, kan værdierne ikke sammenlignes direkte, idet MFP normalt er baseret på 100 % el, og permanente bygninger typisk, af hensyn til opfyldelsen af energirammekravet, reducerer elforbruget mest muligt.

Det bemærkes i øvrigt, at der i denne opstilling er ret store vinduesarealer (i alt ca. 43 m^2 , svarende til ca. 36 % af det opvarmede etageareal). Dette medfører naturligvis et relativt stort transmissionstab, og samtidig er det nødvendigt at have solafskærmning (de skraverede områder i figur 8) for dele af vinduespartierne for at undgå overtemperaturer om sommeren.

Problemformulering

Eksemplerne vist i foregående afsnit opfylder begge gældende krav til midlertidige flytbare pavilloner, men har et væsentligt højere energiforbrug end hvad der kræves hvis der var tale om permanente bygninger.

Den primære årsag hertil er, at midlertidige flytbare pavilloner typisk opvarmes vha. direkte elvarme. Direkte elvarme har en energifaktor på 2,5 i beregningsmetoden til eftervisning af energiramme krav, og dermed vil det være vanskeligt at kunne opfylde et energiramme krav uden at opvarmningsformen ændres. Dette er også årsagen til at midlertidige flytbare pavilloner har særskilte regler i BR10 og at man har accepteret at der kan anvendes direkte elvarme i MFP frem til 2015.

I det følgende kapitel vurderes mulighederne for at reducere energibehovet i de tre eksempelbygninger, og der betragtes løsninger som følger:

- bedre isolering af klimaskærm
- udskiftning af vinduer
- ventilation med varmegenvinding
- tilslutning til fjernvarme
- opvarmning med luft-luft varmepumpe (ventilation)
- opvarmning med luft-væske varmepumpe (gulvvarme)
- opsætning af solceller

Energibesparende foranstaltninger

I dette kapitel gennemføres en række parameteranalyser for eksempelbygningerne beskrevet i foregående afsnit. Formålet er at belyse i hvilket omfang det er muligt at reducere energibehovet i MFP. Parameteranalyserne dækker over isolering af klimaskærmen, udskiftning af vinduer, ventilation med varmegenvinding, alternativer til direkte el-opvarmning samt produktion af el via solceller. Selvom beregningerne er lavet på konkrete og specifikke opstillinger, vil resultaterne også være dækkende for andre opstillinger.

I første omgang gennemføres de enkelte parameteranalyser enkeltvis, og derefter sammensættes en række samlede løsninger, for at vurdere hvor meget energibehovet kan reduceres ved fornuftige kombinationer af tiltag.

Alle beregninger i analysen er foretaget med beregningsprogrammet Be10 (version 6.12.6.23) (Aggerholm og Grau, 2011). Be10 er det program som bl.a. anvendes til at eftervise energirammekrav for nybyggeri.

Klimaskærm

Midlertidige flytbare pavilloner skal, som tidligere omtalt, opfylde en række komponentkrav, herunder også U-værdi krav til bygningsdele. Kravniveauerne svarer nogenlunde til de krav der stilles til tilbygninger for almindeligt byggeri (se tabel 1).

For at reducere energibehovet i de eksisterende pavilloner, kan man overveje enten at tilføje mere isolering til konstruktionerne (ydervæg, loft og gulv) eller at erstatte den eksisterende isolering med et "bedre" materiale med en lavere varmeledningsevne.

Fordelen ved at erstatte den eksisterende isolering med et alternativt materiale med en lavere varmeledningsevne er, at man derved ikke ændrer på pavillonernes mål udvendigt og indvendigt. For at erstatte den eksisterende isolering er det nødvendigt at åbne samtlige konstruktioner i pavillonerne, og det er naturligvis forbundet med en række vanskeligheder.

Modulernes størrelse er imidlertid tilpasset til transporten (se afsnittet 'Beskrivelse af midlertidige pavilloner'), og derfor kan udvendig isolering ikke umiddelbart tilføjes før opstilling. Hvis isoleringen skal tilføjes efter opstillingen, vil det medføre en væsentlig forøgelse af udgifterne, både i forbindelse med opstillingen, men også i forbindelse med den senere nedtagning når pavillonerne skal bruges et andet sted. I afsnittet vedrørende økonomi er der vist et eksempel på meromkostningerne forbundet med udvendig efterisolering af en pavillonopstilling.

Tilføjelse af ekstra isolering indvendigt vil kun være muligt for ydervæggens vedkommende, da man i forvejen opererer med den mindste tilladte rumhøjde (2,50 m). Indvendig efterisolering af ydervæggen, vil kræve væsentlige ændringer i pavillonerne, idet alle elinstallationer skal flyttes og der skal etableres ny indvendig beklædning, og samtidig vil det reducere det opvarmede etageareal med ca. 1,10 m² pr. pavillon pr. 50 mm isolering.

I de følgende analyser betragtes derfor udelukkende to muligheder; erstatning af den eksisterende isolering med nyt materiale med lavere varmeledningsevne og udvendig efterisolering efter opstilling af modulerne.

Ydervæg

For ydervæggens vedkommende kan man, som tidligere omtalt, vælge enten at erstatte den eksisterende isolering med et bedre varmeisolerende materiale eller man kan vælge at efterisolere ydervæggene udvendigt efter pavillonerne er opstillet. I sidstnævnte tilfælde skal det samtidig overvejes om vinduerne samtidig bør flyttes ud i facaden.

Ydervæggen har som udgangspunkt 190 mm isolering og en U-værdi på $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$. Erstattes den eksisterende isolering med en λ -klasse 19 isolering, vil U-værdien reduceres til $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Efterisolering af ydervæggen efter opstilling af pavillonerne med f.eks. 100 mm udvendig isolering samt etablering af ny regnskærm, vil reducere U-værdien til ca. $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Loft

Loftet kan, som tidligere nævnt, udelukkende isoleres udvendigt efter opstilling af pavillonerne pga. restriktioner i forhold til selve transporten af pavillonerne og kravene til mindste etagehøjde. Dette indebærer at den udvendige isolering vil skulle fjernes igen når pavillonerne skal flyttes til et andet formål.

Loftet har som udgangspunkt 219 mm isolering og en U-værdi på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Erstattes den eksisterende isolering med en λ -klasse 19 isolering, vil U-værdien reduceres til $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Efterisolering af loftet efter opstilling af pavillonerne med f.eks. 200 mm udvendig isolering samt etablering af ny tagdækning, vil reducere U-værdien til ca. $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Gulv

For gulvkonstruktionens vedkommende, er det ikke muligt at efterisolere konstruktionen indvendigt eller udvendigt pga. restriktioner i forhold til selve transporten af pavillonerne og kravene til mindste etagehøjde. Udvendig efterisolering efter opstilling er heller ikke en mulighed, og dermed er det kun relevant at undersøge hvor meget der kan opnås ved at udskifte den eksisterende isolering til én med lavere varmeledningsevne.

Gulvkonstruktionen har som udgangspunkt 220 mm isolering og en U-værdi på $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Erstattes den eksisterende isolering med en λ -klasse 19 isolering, vil U-værdien reduceres til $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vinduer

Vinduerne har som udgangspunkt en U-værdi på ca. $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en g-værdi på $0,63$. Hvis disse vinduer udskiftes til noget af det bedste der findes på markedet i dag, vil man kunne få en U-værdi på ca. $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ og samtidig en g-værdi på ca. $0,62$. Det er dog vigtigt at bemærke, at der i visse sammenhænge kan være behov for at vælge glas med en lavere g-værdi for at reducere solindfaldet og dermed undgå risiko for overtemperaturer. For nærværende tages dog udgangspunkt i den "høje" g-værdi.

Ved at udskifte vinduerne til nogle med en lavere U-værdi og nogenlunde samme g-værdi, reduceres varmetransmissionen gennem vinduerne væsentligt, samtidig med at man bibeholder næsten samme niveau af solindfald.

Sammenfatning

Baseret på analyserne i de foregående afsnit, vil konstruktionerne i pavillonerne kunne opnå følgende forbedrede U-værdier:

Tabel 3. Sammenfatning. Forbedring af U-værdier for klimaskærm.

U-værdier [W/m ² K]	Oprindelige konstruktioner	Udskiftning af isolering	Udvendig efterisolering	Udskiftning af vinduer
Ydervæg	0,19	0,12	0,13	-
Loft	0,15	0,09	0,08	-
Gulv	0,15	0,08	-	-
Vinduer	1,40	-	-	0,8

Ved at forbedre klimaskærmens isolering ved enten udvendig efterisolering eller ved at udskifte den oprindelige isolering med et materiale som isolerer bedre, er det muligt at reducere energibehovet i de tre eksempelbygninger. Resultaterne er vist i tabel 4 nedenfor.

Tabel 4. Energiforbrug ved forbedring af klimaskærm.

Energiforbrug [kWh/m ² pr. år]	Oprindelige konstruktioner	Udskiftning af isolering	Udvendig efterisolering	Udskiftning af vinduer
Institutionsbyggeri	182,9	151,3	160,6	151,6
Mandskabsfaciliteter	254,4	213,4	225,0	206,6 ¹⁾

¹⁾ For at undgå overtemperaturer er det nødvendigt med ekstra solafskærmende glas i de nye vinduer.

Systemer

Ventilation

I pavillonbyggeri anvendes, som tidligere nævnt, ofte el-effektive decentrale ventilationsenheder med varmegenvinding. Det er derfor umiddelbart svært at reducere energibehovet yderligere på dette område.

Enhederne har typisk varmegenvinding med en temperatureffektivitet på 85 % og SEL-værdien (specifikt elforbrug til lufttransport) for anlæggene ligger mellem 0,3 – 0,5. Hermed er de anvendte anlæg nogenlunde på samme energimæssige niveau som de bedste centrale ventilationsanlæg der anvendes i permanente bygninger.

Opvarmning og varmt brugsvand

Anvendelsen af direkte elvarme i MFP er, som tidligere omtalt, en af de primære årsager til at energibehovet er relativt højt i denne type byggeri. Der findes en række forskellige alternative muligheder til den direkte elvarme, og herunder er der lavet en række beregninger af hvordan de forskellige alternativer påvirker energibehovet i de to eksempelbygninger.

Anvendelse af fjernvarme kan overvejes som en mulighed. Det kræver naturligvis at der er tale om opstilling i et område med fjernvarme, og at det er muligt at trække fjernvarmen til pavillonerne (f.eks. fra en eksisterende installation i nærheden). Fordelen ved at anvende fjernvarme er, at temperaturen på fjernvarmevandet vil være så høj at man vil kunne bruge radiatorer i pavillonerne, hvilket betyder relativt få ændringer i de enkelte pavillonmoduler (opsætning af radiator og rør til fordeling). Samtidig har fjernvarmen en energifaktor på 1,0 (i forhold til 2,5 for el), hvilket medfører en stor reduktion i det samlede energibehov.

Ved at udskifte den direkte elvarme med fjernvarme, reduceres energibehovet i de to eksempelbygninger fra hhv. 182,9 kWh/m² pr. år til 88,1 kWh/m²

pr. år for institutionsbyggeriet og fra 254,4 kWh/m² pr. år til 121,1 kWh/m² pr. år for mandskabsfaciliteterne.

En anden mulighed for at ændre opvarmningsformen er varmepumper. Her kan der enten anvendes luft-vand varmepumper eller luft-luft varmepumper.

Luft-vand varmepumper vil ofte kræve at der lægges gulvvarmeslanger i pavillonerne til fordeling af varmen, da temperaturen der kan opnås ved denne varmepumpetype typisk ikke er tilstrækkeligt høj til at den kan anvendes i radiatorer. I (Kryger, 2011) er der bl.a. lavet analyser af mulighederne for at anvende lette gulvvarmesystemer i fremtidens pavilloner, og der er givet en beskrivelse af hvordan systemet skal dimensioneres for at passe til formålet. Rapporten omhandler dog ikke mulighederne for lignende installation i eksisterende pavilloner. Placeringen af gulvvarmeslangerne kræver ca. 50 mm af gulvkonstruktionens tykkelse, og dermed vil den eksisterende konstruktion skulle ændres væsentligt (se den tidligere beskrivelse af den eksisterende gulvkonstruktions opbygning).

Ved at udskifte den direkte el-opvarmning med luft-vand varmepumper, reduceres energibehovet i de to eksempelbygninger fra hhv. 182,9 kWh/m² pr. år til 81,1 kWh/m² pr. år for institutionsbyggeriet og fra 254,4 kWh/m² pr. år til 116,1 kWh/m² pr. år for mandskabsfaciliteterne.

Luft-luft varmepumper er som nævnt en alternativ mulighed. Her skal der opsættes en varmepumpe til hvert enkelt rum for at efterleve kravene i bygningsreglementet om individuel regulering.

I (Olsen, 2009) er der lavet en analyse af mulighederne for at anvende luft-luft varmepumper til opvarmning i pavilloner. Konklusionen i denne rapport er, at der med anvendelse af de luft-luft varmepumper der findes på markedet i dag, ofte vil blive tale om en overdimensionering af anlægget hvilket medfører at nyttevirkningen af systemet reduceres kraftigt. Systemet vil dog kunne nedreguleres, så nyttevirkningen ikke reduceres, men overdimensioneringen vil medføre at der er tale om relativt dyre og pladskrævende enheder.

I de følgende beregninger antages det, at de anvendte luft-luft varmepumper kan yde optimalt i forhold til eksempelbygningernes behov, og der tages altså ikke hensyn til eventuelle overdimensionerings-/nedreguleringseffekter.

Ved at udskifte den direkte el-opvarmning med luft-luft varmepumper, reduceres energibehovet i de to eksempelbygninger fra hhv. 182,9 kWh/m² pr. år til 113,5 kWh/m² pr. år for institutionsbyggeriet og fra 254,4 kWh/m² pr. år til 120,8 kWh/m² pr. år for mandskabsfaciliteterne.

I tabel 5 er resultaterne vedrørende mulighederne for alternative opvarmningsformer opsummeret.

Tabel 5. Energiforbrug ved udskiftning af opvarmningssystem.

Energiforbrug [kWh/m ² pr. år]	Direkte el- opvarmning	Fjernvarme	Luft-vand varmepumpe	Luft-luft varmepumpe
Institutionsbyggeri	182,9	88,1	81,1	113,5
Mandskabsfaciliteter	254,4	121,1	116,1	120,8

Resultaterne i tabellen ovenfor viser, at man for institutionsbyggeriet når under energirammekravet til permanent byggeri hvis der installeres en luft-vand varmepumpe som alternativ til den direkte el-opvarmning. For den samme bygning kommer man også ret tæt på at opfylde kravet når der skif-

tes til fjernvarme. Dette viser tydeligt, at det er opvarmningsformen der giver vanskeligheder i forhold til at nå længere ned i energiforbrug for MFP.

For mandskabsfaciliteternes vedkommende er der fortsat et stykke vej før energirammekravet til permanente bygninger kan opfyldes, uanset hvilken opvarmningsform der vælges.

El-produktion til dækning af varmebehov (solceller)

Et alternativ til at ændre opvarmningskilden i de midlertidige flytbare pavilloner er, at opsætte solceller til produktion af den el som benyttes til opvarmning af pavillonerne.

For begge bygninger gennemføres dels en beregning af den forventede energibesparelse ved opsætning af 50 m² solceller på pavillonbygningernes tag og dels en beregning for at fastlægge hvor stort et solcelleareal der vil være nødvendigt for at reducere det samlede energibehov til et niveau hvor energirammen for permanent byggeri opfyldes. I tabel 6 er opstillet resultaterne af beregningerne.

Tabel 6. Energiforbrug ved opsætning af solceller.

Energiforbrug [kWh/m ² pr. år]	Udgangspunkt	50 m ² solceller	100 m ² solceller
Institutionsbyggeri	182,9	147,0	126,0
Mandskabsfaciliteter	254,4	213,9	189,5

Resultaterne i tabellen viser, at man for institutionsbyggeriet reducerer energibehovet med ca. 35,9 kWh/m² ved at opsætte 50 m² solceller mens reduktionen er 56,9 kWh/m² når der opsættes 100 m². For mandskabsfaciliteterne vedkommende er de tilsvarende reduktioner hhv. 40,5 kWh/m² og 64,9 kWh/m².

Beregninger viser endvidere, at for at opfylde kravet til energirammen for permanente bygninger, så ville der skulle opsættes i alt 310 m² solceller på institutionsbygningen og ca. 735 m² solceller på mandskabsfaciliteterne.

Øvrige tiltag

Udover de allerede gennemgåede tiltag, kunne det også overvejes at reducere energibehovet i bygningerne ved f.eks. el-effektivisering af belysningen eller produktion af varmt brugsvand ved hjælp af et solvarmeanlæg. Elforbruget til belysning og varmt brugsvand er imidlertid så relativt beskedne i de betragtede bygninger, at forbedringer på disse områder kun vil have en ganske lille effekt i det samlede billede. Derfor er det valgt, ikke at lave beregninger på disse tiltag.

Kombinationer af energibesparende tiltag

I foregående afsnit er gennemført beregninger på enkelttiltag i forhold til at reducere energiforbruget i pavillonbygningerne. Disse beregninger viser, at hvis man udskifter opvarmningsformen fra direkte elvarme til enten varmepumper eller fjernvarme, så opnår man en relativt stor reduktion i energibehovet. I nogle tilfælde vil en ændring af opvarmningsformen i sig selv, være tilstrækkeligt for at nå energirammekravet for permanente bygninger. I de øvrige tilfælde vil dette mål kunne nås ved samtidig udskiftning af vinduer.

Forbindelse til fjernvarme og installation af varmepumper er imidlertid forbundet med en række praktiske, tekniske og økonomiske udfordringer, og derfor vil det være interessant at undersøge hvor meget energibehovet kan

reduceres uden at ændre på opvarmningsformen. I det følgende er der derfor gennemført beregninger på kombinationer af tiltag som belyser dette.

I nedenstående tabeller er opstillet resultaterne af beregninger for kombinationer af tiltag. Første række viser udgangspunktet, dvs. energibehovet for de oprindelige pavillonbygninger. De efterfølgende rækker viser, skridt for skridt, hvordan energibehovet reduceres efterhånden som flere tiltag kombineres.

Tabel 7. Kombinationer af energibesparende tiltag, eksempel 1.

Energibehov [kWh/m ² pr. år]	Institutionsbyggeri	Mandskabsfaciliteter
Oprindelig udformning	182,9	254,4
Udskiftning af isolering	151,3	213,4
Udskiftning af vinduer	125,0	167,5
50 m ² solceller	89,9 ¹⁾	132,8 ²⁾

¹⁾ Der skal bruges ca. 90 m² solceller for at BR-kravet til permanente bygninger overholdes

²⁾ Der skal bruges ca. 230 m² solceller for at BR-kravet til permanente bygninger overholdes

Tabel 8. Kombinationer af energibesparende tiltag, eksempel 2.

Energibehov [kWh/m ² pr. år]	Institutionsbyggeri	Mandskabsfaciliteter
Oprindelig udformning	182,9	254,4
Udvendig efterisolering	160,6	225,0
Udskiftning af vinduer	133,0	178,7
50 m ² solceller	97,4 ¹⁾	142,3 ²⁾

¹⁾ Der skal bruges ca. 120 m² solceller for at BR-kravet til permanente bygninger overholdes

²⁾ Der skal bruges ca. 290 m² solceller for at BR-kravet til permanente bygninger overholdes

Tabel 7 og 8 viser, at det er vanskeligt at nå ned på et energibehov så energikravet for permanente bygninger overholdes, uden at der samtidig ændres på opvarmningsformen.

Økonomi

I dette afsnit er lavet en række analyser af økonomien i de energibesparende tiltag beskrevet i de foregående kapitler. De økonomiske tal er, i så vid udstrækning som muligt, taget fra konkrete eksempler/projekter. I det omfang, at det ikke har været muligt at bruge konkrete eksempler, er der lavet beregninger som så vidt muligt afspejler de forventede udgifter til at gennemføre de energibesparende foranstaltninger på en konkret byggesag.

Byggesagen som benyttes til at lave de økonomiske vurderinger er et kontorbyggeri bestående af 16 pavillonmoduler, svarende til ca. 640 m².

Det antages i beregningerne, at de energibesparende foranstaltninger kan anvendes i 10 år, hvilket svarer nogenlunde til den gennemsnitlige forventede rest-levetid for de eksisterende pavilloner.

Udskiftning af isolering i ydervæg, loft og gulv

Der er ikke tidligere gennemført projekter hvor den eksisterende isolering i ydervægge, lofter og gulve er udskiftet i pavillonmoduler, men producenten vurderer at en udskiftning til bedre isolerende materialer vil koste ca. 100.000 kr. pr. pavillonmodul, dvs. ca. 2.500 kr. pr. m². Den samlede økonomi for bygningen er opstillet i tabellen nedenfor.

Tabel 9. Meromkostning ved udskiftning af isolering til materiale med lavere varmeledningsevne.

	Stk. [-]	Pris pr. stk. [kr.]	Total pris [kr.]
Standard pavillonmoduler	16	237.500	3.800.000
Udskiftning af isolering	16	100.000	1.600.000
Levering og opstilling af pavilloner	-	-	350.000
Total			5.750.000

Udskiftning af isoleringen forøger den samlede omkostning for pavillonløsningen med ca. 38 %. Den energimæssige besparelse ved tiltaget er ca. 31,6 kWh/m² (jf. de tidligere analyser), og dermed er energispareprisen, dvs. det det koster i kroner at spare én kWh, ca. 7,9 kr./kWh.

Udvendig efterisolering af ydervæg, loft og gulv

I forbindelse med et konkret pavillonprojekt er der udført en udvendig efterisolering af klimaskærmen, således at projektet kunne efterleve energirammen i BR10 til permanent byggeri. Ydervæggen er efterisoleret med 70 mm isolering indvendigt, loftet er efterisoleret med 150 mm udvendigt mens gulvkonstruktionen er efterisoleret med 195 mm udvendigt. Herfra haves prisen for den energimæssige opgradering af pavillonløsningen. Prisberegningerne er vist i nedenstående tabel.

Tabel 10. Meromkostning ved udvendig efterisolering af klimaskærm.

	Stk. [-]	Pris pr. stk. [kr.]	Total pris [kr.]
Standard pavillonmoduler	16	237.500	3.800.000
Efterisolering af ydervæg (70 mm)	-	-	200.000
Efterisolering af loft (150 mm)	-	-	100.000
Efterisolering af gulv (195 mm)	-	-	150.000
Levering og opstilling af pavilloner	-	-	350.000
Total			4.600.000

Udvendig efterisolering af klimaskærmen forøger den samlede omkostning for pavillonløsningen med ca. 11 %. Den energimæssige besparelse ved tiltaget er ca. 22,3 kWh/m² (jf. de tidligere analyser), og dermed er energispareprisen ca. 3,2 kr./kWh.

Udskiftning af vinduer

Bygningen har i alt 31 vinduer med et samlet areal på ca. 102 m², svarende til ca. 16 % af det opvarmede etageareal. Prisen for at skifte til bedre vinduer med lavere U-værdi er opdelt i prisen for selve vinduerne pr. m² og omkostningen ved at udskifte vinduerne i bygningen. I tabellen nedenfor er omkostningerne opgjort.

Tabel 11. Meromkostning ved udskiftning af vinduer.

	Stk. [-]	å [kr.]	Total pris [kr.]
Standard pavillonmoduler	16 stk.	237.500	3.800.000
Nye vinduer	102 m ²	3.000	306.000
Udskiftning af vinduer	31 stk.	1.000	31.000
Levering og opstilling af pavilloner	-	-	350.000
Total			4.487.000

Udskiftning af de eksisterende vinduer forøger den samlede omkostning for pavillonløsningen med ca. 8 %. Den energimæssige besparelse ved tiltaget er ca. 47,8 kWh/m² (jf. de tidligere analyser), og dermed er energispareprisen ca. 1,1 kr./kWh.

Luft-vand varmepumpe med gulvvarme

I forbindelse med et konkret pavillonprojekt er der installeret 2 stk. luft-vand varmepumper og samtidig er varmesystemet i pavillonbygningen erstattet med et nyt gulvvarmesystem. Herfra haves prisen for den energimæssige opgradering af pavillonløsningen.

Tabel 12. Meromkostning ved etablering af gulvvarmesystem baseret på luft-vand varmepumper.

	Stk. [-]	Pris pr. stk. [kr.]	Total pris [kr.]
Standard pavillonmoduler	16	237.500	3.800.000
Luft-vand varmepumper (lev. + mont.)	2	75.000	150.000
Etablering af gulvvarmesystem	-	-	210.000
Levering og opstilling af pavilloner	-	-	350.000
Total			4.510.000

Etablering af gulvvarme baseret på luft-vand varmepumper, forøger den samlede omkostning for pavillonløsningen med ca. 9 %. Den energimæssige besparelse ved tiltaget er ca. 101,8 kWh/m² (jf. de tidligere analyser), og dermed er energispareprisen ca. 0,6 kr./kWh.

Luft-luft varmepumpe

I det konkrete pavillonprojekt er der, som tidligere omtalt, brugt luft-vand varmepumper. Hvis man i stedet havde valgt at bruge luft-luft varmepumper, så ville man skulle have brugt én varmepumpe pr. kontor i bygningen samt én varmepumpe i receptionen, dvs. i alt 22 stk. I nedenstående tabel er opgjort omkostningen for at indkøbe og montere varmepumperne.

Tabel 13. Meromkostning ved installation af luft-luft varmepumper.

	Stk. [-]	Pris pr. stk. [kr.]	Total pris [kr.]
Standard pavillonmoduler	16	237.500	3.800.000
Luft-luft varmepumper	22	15.000	375.000
Montering af varmepumper	22	1.000	22.000
Levering og opstilling af pavilloner	-	-	350.000
Total			4.547.000

Montering af luft-luft varmepumper som erstatning for den traditionelle direkte el-opvarmning, forøger den samlede omkostning for pavillonløsningen med ca. 10 %. Den energimæssige besparelse der opnås ved tiltaget er ca. 101,8 kWh/m² (jf. de tidligere analyser), og dermed er energispareprisen ca. 0,6 kr./kWh.

Fjernvarme

En løsning som ikke er behandlet mht. økonomi er fjernvarme. Denne løsning kræver naturligvis, at der det pågældende sted er en fjernvarmeinstallation og dels at man kan trække vandet herfra og til pavillonbygningen. Derudover vil der skulle installeres enten vandbårne radiatorer eller gulvvarme i pavillonerne samt installation til varmt brugsvand. Løsningen vil helt klart være økonomisk på linje med, og måske også lidt bedre end, luft-vand varmepumpeløsningen.

Solceller

I det analyserede pavillonprojekt er der ikke benyttet solceller. Havde man, i stedet for at ændre opvarmningsformen, valgt at opsætte f.eks. 50 m² solceller for at dække en del af el-behovet som anvendes til direkte el-opvarmning, så ville økonomien se ud som følger.

Tabel 14. Meromkostning ved opsætning af solceller.

	Stk. [-]	Pris pr. stk. [kr.]	Total pris [kr.]
Standard pavillonmoduler	16	237.500	3.800.000
50 m ² solceller	-	110.000	110.000
Opsætning af solceller	-	50.000	50.000
Levering og opstilling	-	-	350.000
Total			4.310.000

Montering af 50 m² solceller på taget af pavillonbygningen, forøger den samlede omkostning for pavillonløsningen med ca. 4 %. Den energimæssige besparelse der opnås ved tiltaget er ca. 35,9 kWh/m² (jf. de tidligere analyser), og dermed er energispareprisen ca. 0,7 kr./kWh. Hvis en tilsvarende beregning laves for eksemplet med 100 m² solceller, vil energispareprisen stige til 0,9 kr./kWh.

Referencer

2011. **Bygningers energibehov.** SBI-anvisning 213, 2. udgave. Søren Aggerholm og Karl Grau, SBI, Aalborg Universitet.

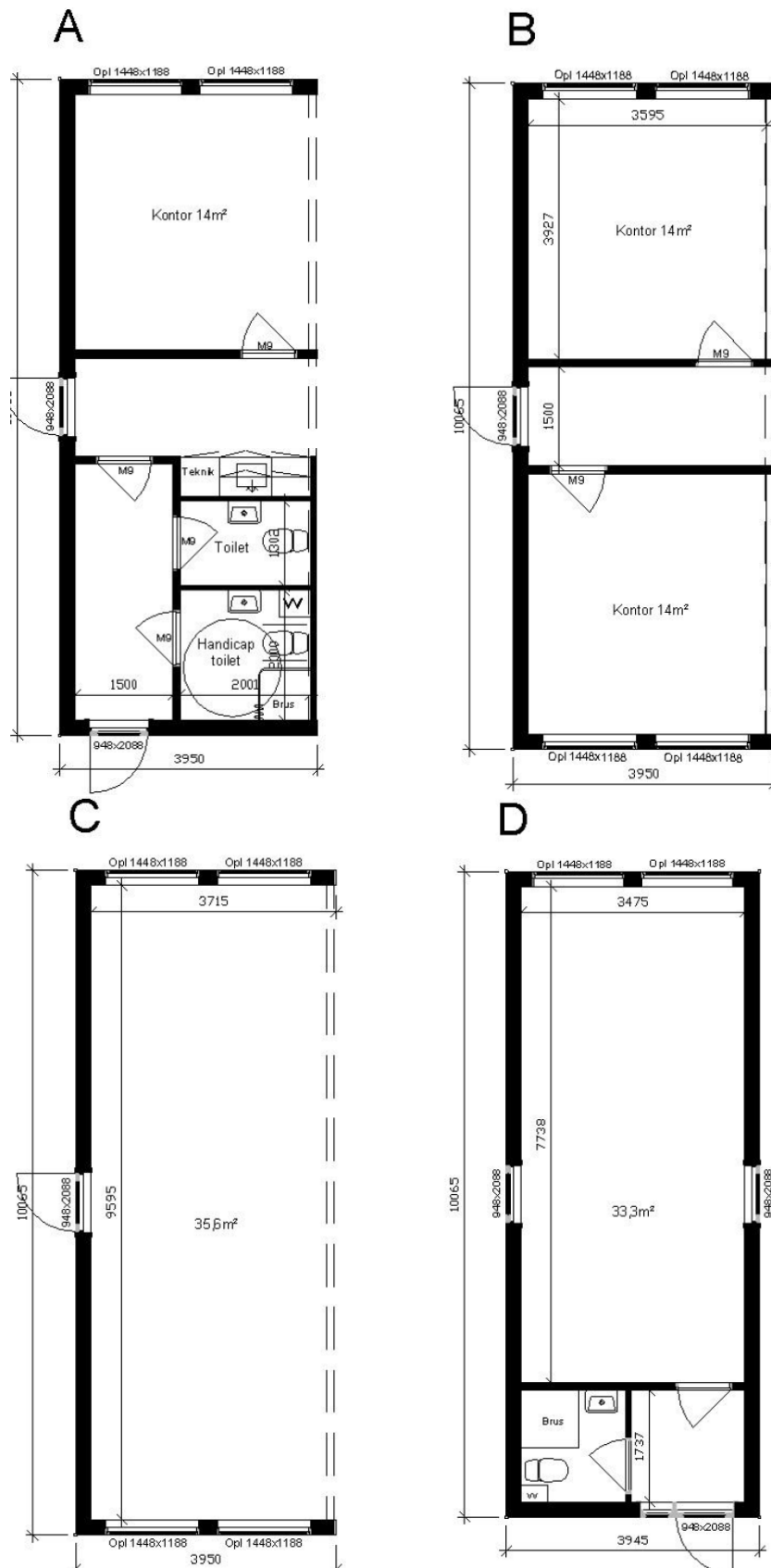
2010. **Bygningsreglement 2010.** (24.08.2011), Erhvervs- og Byggestyrelsen.

2011. **Fra højenergi til lavenergi pavillonbyggeri.** Morten Kryger, Force Technology.

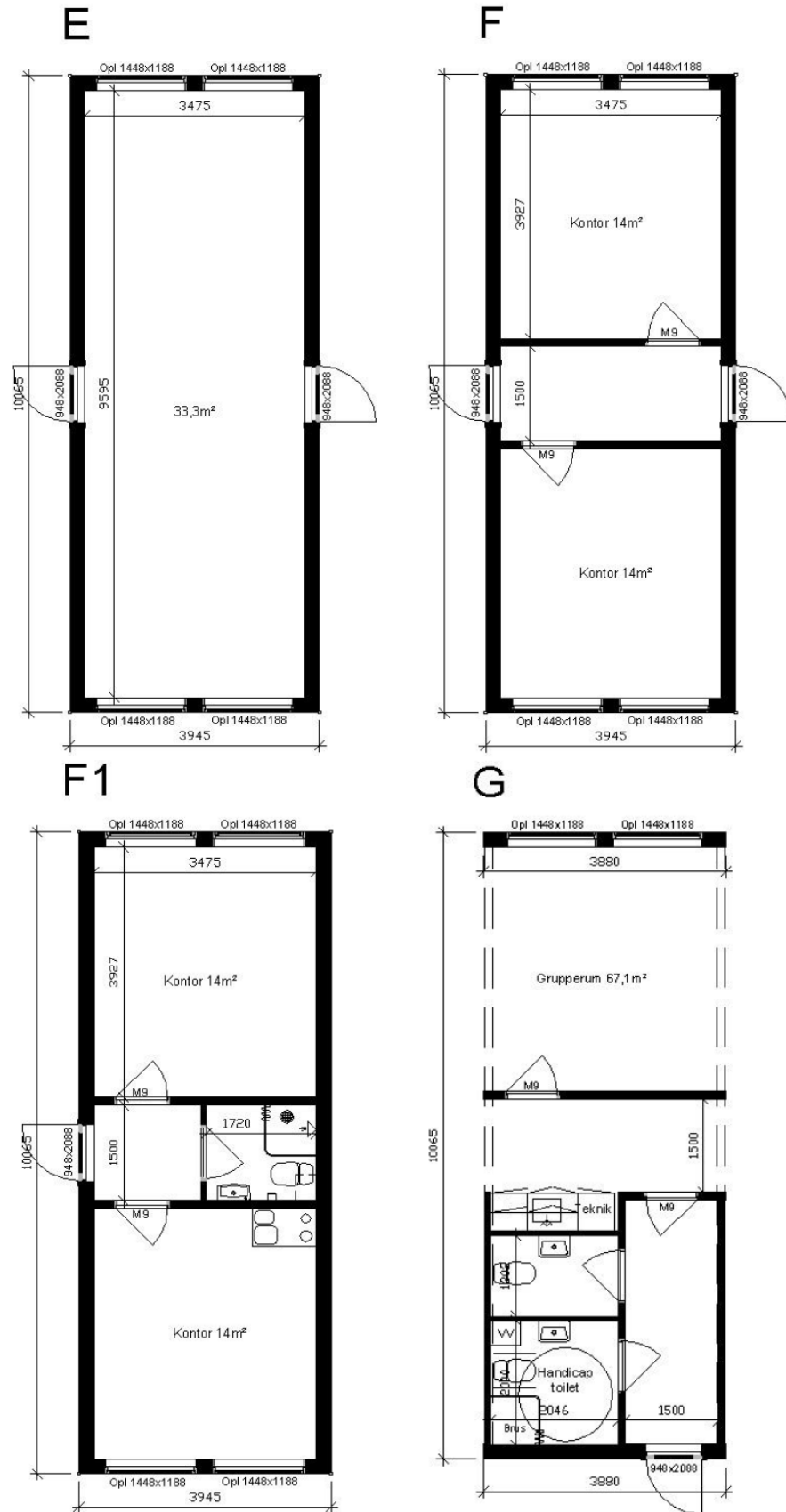
2009. **Notat vedr. muligheder for opvarmning af pavilloner.** Lars Olsen, Teknologisk Institut, Center for køle- og varmepumpe teknik.

Appendiks A

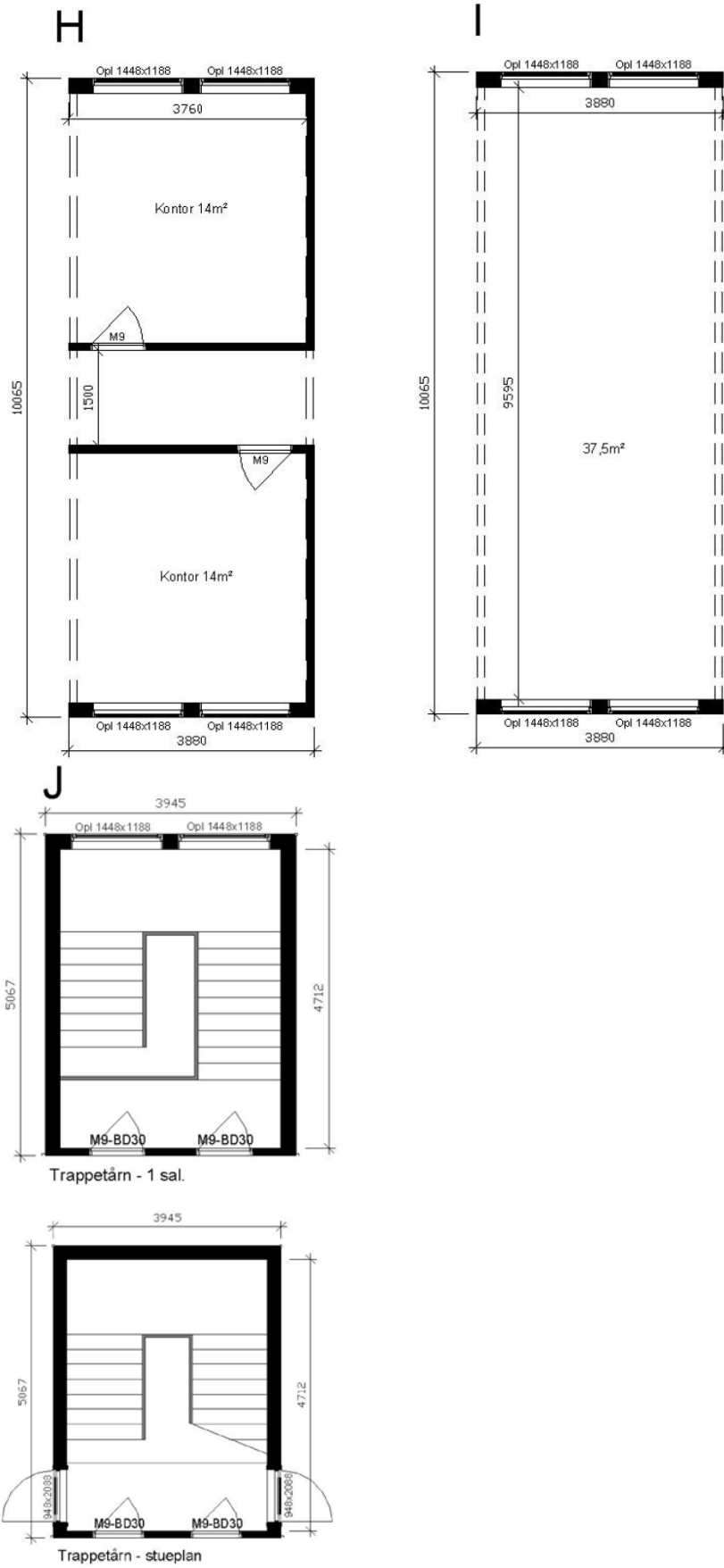
Appendiks A – Oversigt over pavillonmoduler



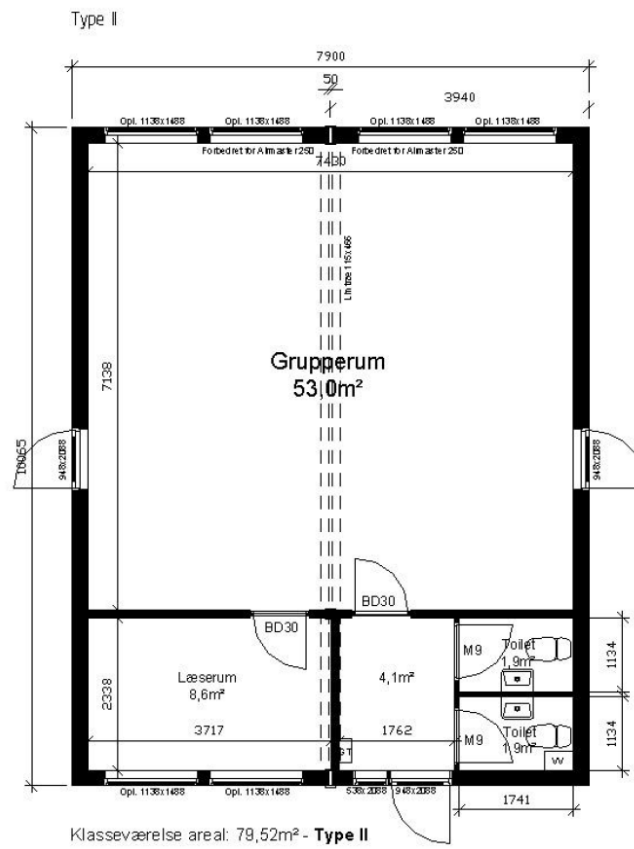
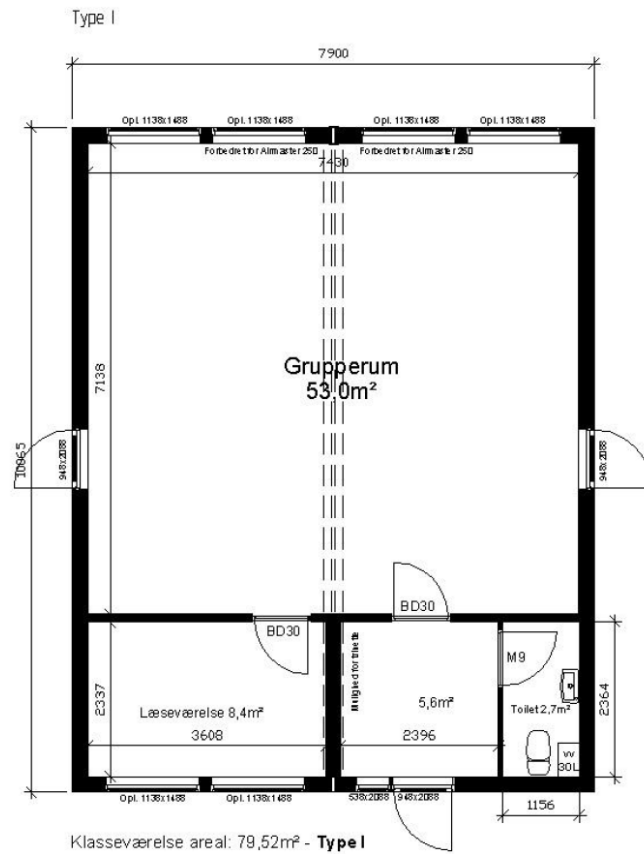
Appendiks A – Oversigt over pavillonmoduler



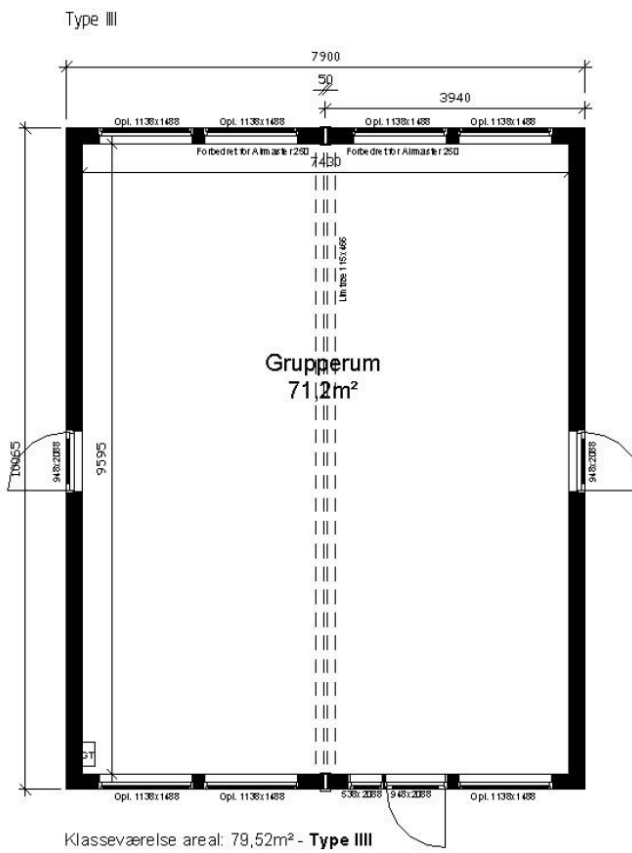
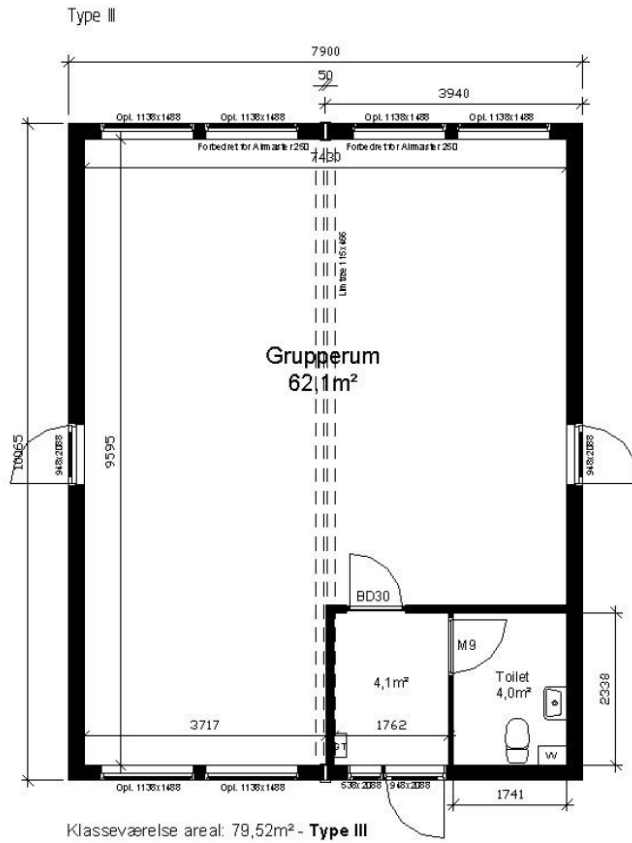
Appendiks A – Oversigt over pavillonmoduler



Appendiks A – Oversigt over pavillonmoduler



Appendiks A – Oversigt over pavillonmoduler



I rapporten belyses mulighederne for energimæssig opgradering af eksisterende midlertidige, flytbare pavilloner. Analyserne omfatter dels løsninger relateret til forbedringer af klimaskærmen, dvs. ydervægge, gulve, lofter, vinduer og dels forbedringer af pavillonernes installationer, dvs. opvarmning, ventilation og el-producerende anlæg.

Formålet med rapporten er at analysere i hvilket omfang energimæssig opgradering af pavillonerne kan medvirke til en generel energieffektivisering på området. Midlertidige flytbare pavilloner benytter ofte direkte el-opvarmning, og derfor analyseres forskellige alternative opvarmningsteknologier for at få et overblik over de samlede energimæssige konsekvenser ved at anvende alternative teknologier. Herudover vurderes også mulighederne for at producere den nødvendige el til opvarmning af pavillonerne.

Rapporten er udarbejdet i samarbejde med CP ApS i forbindelse med en Videnkupon bevilget af Forsknings- og Innovationsstyrelsen.