



Energistyrelsen

Projektrapport:
Energisparepotentialer i byggeprocessen



TEKNOLOGISK
INSTITUT

 MTHøjgaard



Statens Byggeforskningsinstitut
AALBORG UNIVERSITET

maj 2013

Indhold

1. Forord	3
2. Formål.....	4
3. Metode	4
4. Eksisterende viden.....	7
4.1 "Energibesparelspotentialer på byggepladsen"	7
4.2 "Gør byggepladsen energirigtig"	7
4.3 Innobyg – "den bæredygtige byggeplads"	8
4.4 EnergiCab - Efterisolering af skurby	9
4.5 Arbejdstilsynets Bekendtgørelse 1516 af 16. december 2010.....	9
4.6 Energiforbrug til udtørring af bygninger efter ibrugtagning	10
4.7 Totalinddækning.....	10
4.8 Litteraturscreening af estimater for energiforbrug til udtørring af bygninger i Danmark.....	12
5. Datavask	13
6. Grundlæggende data om byggeprojekterne.....	16
KPMG ved Flintholm Station	16
Karlsunde Stationscenter.....	16
LMG - Herlev.....	16
LightHouse – Bygning I	16
Vestas, Skejby	16
7. Fordeling af energi på forbrugskategorier	16
KPMG ved Flintholm Station	16
Karlsunde Stationscenter.....	17
LMG - Herlev	17
LightHouse – Bygning I	18
Vestas, Skejby	18
8. Kortlægning af teknologivalg.....	19

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

KPMG ved Flintholm Station	19
Karlslunde Stationscenter.....	20
LMG - Herlev	20
LightHouse – Bygning I	21
Vestas, Skejby	21
9. Opsummering af byggeprojektgranskningen	22
10. Udpegning af energisparetiltag og estimering af energimæssige og økonomiske potentialer	24
11. Konklusion	30
12. Bilag	31
Bilag 1: Energiomkostninger ifm. 69 byggeprojekter	32
Bilag 2: Byggeskader i Byggeskadefonden.....	34
Bilag 3: DMI – vejrdata for perioden vinter 2008 – 2009 til og med efteråret 2012.	35
Bilag 4: Eksempel på vurdering af effekt behov ved vinterinddækning af stillads (Teknologisk institut/ Vinterbyggeri).....	36

1. Forord

Nærværende rapport er udarbejdet for Energistyrelsen af et konsortie bestående af entreprenørvirksomheden MT Højgaard A/S, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU (SBI) og Teknologisk Institut, med Teknologisk Institut som projektleder.

Holdet bag rapporten har været:

John Sommer, MT Højgaard A/S

Jørgen Rose, AAU (SBI)

Magne Schütt Hansen, Teknologisk Institut

Bent Kofoed Teknologisk, Institut

Kathrine Birkemark Olesen (projektleder), Teknologisk Institut

Rapporten er udarbejdet i perioden dec. 2012 – maj 2013, og indeholder estimater over hvilke energisparepotentialer, der ligger i energiforbruget i selve byggeprocessen, og opsummerer eksisterende viden på området. Formålet hermed er at kunne opnå yderligere energibesparelser i byggeriet i forbindelse med byggeprocessen.

Rapporten indledes med en formålsbeskrivelse og en metodebeskrivelse. Herefter følger et afsnit med en beskrivelse af eksisterende viden på området. Datagrundlaget, som stammer fra 69 byggeprojekter, der er gennemført i perioden januar 2010 til november 2012, og de herfra udvalgte fem byggeprojekter gennemgås i afsnittene "Datavask", "Grundlæggende data om byggeprojekterne", "Fordeling af energi på forbrugskategorier", og "Kortlægning af teknologivalg". Rapporten afsluttes med en opsummering af projektgranskningen, udpegning af energisparetiltag og en konklusion.

2. Formål

Formålet med denne rapport er følgende:

- Bestemme det gennemsnitlige energiforbrug pr. kvadratmeter bebygget areal på danske byggepladser
- Bestemme spredningen i ovennævnte energiforbrug
- Sætte energiforbrug på byggepladsen i forhold til energiforbrug i brugsfasen
- Udpege rentable energispareindsatser

3. Metode

Formålet nås ved gennemførelse af følgende aktiviteter:

- Indsamling af data
- Datavask og udvælgelse af byggeprojekter til videre analyse
- Kortlægning af grundlæggende data fra de udvalgte byggeprojekter
- Fordeling af energi på forbrugskategorier
- Kortlægning af teknologivalg
- Kortlægning og prissætning af energisparetiltag

I det følgende er aktiviteterne beskrevet.

Indsamling af data

De grundlæggende data til analyserne er leveret af MT Højgaard A/S, og omfatter data fra 69 byggeprojekter, hvor der har været energiforbrug i perioden januar 2010 til november 2012. Disse data beskriver forholdet mellem energiomkostninger og entreprisesummer.

Datavask

Der skal ryddes op i de udleverede data fra MTH, da fejlagtigt data vil påvirke det endelige resultat og skabe usikkerhed om nøjagtigheden. Ved at kigge nærmere på de udvalgte byggeprojekter kan det eksempelvis blive afdækket om et ekstremt lavt energiforbrug dækker over, at energiforbruget ikke er blevet registreret eller er blevet registreret forkert. Der kan også være byggeprojekter, som ikke er afsluttet, og derfor har et misvisende lavt energiforbrug.

Byggeprojekterne opdeles i en række puljer rangeret efter det samlede energiforbrug i byggefasen. Fra hver pulje udvælges byggeprojekterne, 5 i alt, som anvendes i de videre analyser og kortlægninger.

Kortlægning af grundlæggende data om projektet

De tilgængelige data beskriver forholdet mellem energiomkostninger og entrepriseomkostninger. I det endelige resultat skal energiforbruget pr. kvadratmeter fremgå. Derfor skal de reelle opførte kvadratmeter fastlægges. Der medtages ikke uopvarmede arealer som eksempelvis parkeringshuse og parkeringskældre.

Fordeling af energi på forbrugskategorier

På baggrund af de grundlæggende data er der udvalgt 5 projekter til nærmere granskning i forhold til kortlægning af teknologivalg og fordeling af energiomkostninger på fire områder:

- Opvarmning af bygningen i byggeprocessen
- Opvarmning af mandskabsskure og byggepladskontorer i byggeprocessen
- Energi til proces-el og belysning
- Udtørring af bygningen

I rapporten arbejdes der ikke med begrebet vinterforanstaltninger. Vinterforanstaltninger i Vinterbekendtgørelsens regi drejer sig om særlige aktiviteter, der kan iværksættes for at holde byggeprocessen i gang i perioden 1. november – 31. marts, for hvilke der i øvrigt gælder særlige betalingsforhold. I den grad at sådanne aktiviteter er relevante i energimæssige sammenhænge, er de kategoriserede inden for ovennævnte 4 kategorier.

Arbejdet med analyse og kortlægning sker ved interviews med de ansvarlige byggeledere for de udvalgte byggesager.

Det er en kendsgerning, at energiforbruget er højere i vinterhalvåret end i sommerhalvåret. I rapporten har konsortiet, når det har været nødvendigt i vurderinger ol., valgt at regne vinteren fra 1. oktober til og med 31. marts, i alt 6 måneder. Vinterbekendtgørelsen har godt nok en kortere vinter fra 1. november til og med 31. marts, men set i sammenhæng med energiforbruget til opvarmning og udtørring regulerer Vinterbekendtgørelsen betalingsforholdet og ikke behovet i denne periode.

Til orientering bringes i bilag 3 uddrag af relevante vejrdata fra DMI for byggeperioderne for de 5 udvalgte projekter. Det drejer sig om Sæsonoversigter og Årsoversigter.

I tabellen nedenfor ses en oversigt over alle de energiforbrug, som kan forekomme på en byggeplads. De energiomkostninger, som fremgår af de tilgængelige data, dækker imidlertid ikke alle disse områder, men kun de områder som er markeret med blå. Der er således set bort fra dieselforbrug til maskiner til jordarbejde i anlægsfasen og til dieselforbrug til transport i byggeprocessen, fordi en stor del af energien er forbrugt af underentreprenører og at det inde for denne undersøgelses rammer ikke har været muligt at skaffe oplysninger om dette forbrug. Tabellen bruges som en tjekliste i forbindelse med interviews med de ansvarlige byggeledere i de udvalgte byggeprojekter.

Maskiner	Skurby	Belysning	Transport på pladsen	Opvarmning (råhus)	Udtørring (råhus)	Særlige forbrug
Elværktøj	Kontorskure	Orienteringslyskæde	Mobilkraner (diesel)	Elvarmeblæsere	Affugter	Dykpumper
Piloteringsmaskiner	Mandskabsskure	Orienteringsspots	Lifte	El tracing		Grundvandspumper
Gravemaskiner	Beboelsescontainere	Arbejdslys	Tårnkran	Varmetråde (i beton)		Snerydning
Højtryksskressorer	Værkstedsvogne	Natbelysning	Gummihjulslæsser/rendegraver/bobcat			
Øvrige maskiner	Opvarmede materialecontainere		Hejs			

Tabel 3.1

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Kortlægning af teknologivalg

Den nærmere granskning af byggeprojekter skal også kortlægge teknologivalg. Ved at sammenligne de udvalgte byggeprojekter skal det kortlægges, om der er systematiske forskelle på byggepladserne, som har resulteret i et lavere energiforbrug.

Byggeprojekterne gennemgås ud fra nedenstående tjekliste

Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	proces-el og belysning	Udtørring
Opvarmningsmetode, kollektiv energi eller lokal energikilde	Anvendelse af vinterisolerede mandskabsskure	Anvendelse af lavenergiteknologier i eksempelvis udstyr og værktøj	Fordelingen mellem præfabrikerede elementer og in-situ støbte konstruktioner.
Interimsaflukning af råhus	Natsænkning på radiatorer	Anvendelse af særlige el besparende lyskilder, som LED elsparepærer og damplamper	Byggeperiode, årstid
Totalinddækning, inddækkede stilladser og overdækninger	Synliggørelse af forbrug ved opsætning af målere	Anvendelse af bevægelsesfølere til belysning	Luftskifte pr. time
	Alarmsystemer som advarer om åbne døre og vinduer		Affugtningsmetode, passiv opvarmning, sorption
			Anvendelse af selvudtørrende beton til in-situ støbte konstruktioner

Kortlægning og prissætning af mulige energisparetiltag

Eventuelle energisparepotentialer kortlægges inden for følgende fire områder:

- Opvarmning af den nye bygning på byggepladsen
- Opvarmning af mandskabsskure og byggepladskontorer i byggeprocessen
- Energi til proces-el og belysning
- Udtørring af bygningen

På baggrund af materiale fra byggeprojekterne estimeres omkostningerne forbundet med at vælge den energirigtige løsning. Denne omkostning skal sammenholdes med den forventede energibesparelse for at kunne vurdere om tiltaget er rentabelt.

4. Eksisterende viden

4.1 "Energibesparelsepotentialer på byggepladsen"

I afgangprojektet "Energibesparelsepotentialer på byggepladsen" udført af Jesper Schultz Jørgensen og Rasmus Andreasen Rasmussen; Institut For Planlægning, Institut for Anvendt Bygge- og Miljøteknik; Danmarks Tekniske Universitet, 2000 er der gennemført; en kortlægning af energiforbruget på 4 danske byggepladser; en overordnet cost benefit- og miljømæssig analyse af de mulige energi- og opvarmningstyper, der benyttes til opvarmning på byggepladsen. Endeligt er en række energisparemuligheder på byggepladsen undersøgt.

Rapportens beregninger bygger på en registrering af energiforbruget på 4 forskellige byggepladser. Der er gennemført en aktuel og en midlet beregning pr. byggeplads.

Kortlægningen viser, at energiforbruget for de 4 byggepladser varierer mellem 104,9 kWh/m² og 165,5 kWh/m² og det konkluderes, at for alle 4 byggepladser gælder, at det største energiforbrug knytter sig til vinterforanstaltningerne, som ikke svarer til begrebet vinterforanstaltninger i Vinterbekendtgørelsen, men dækker over aktiviteter som opvarmning, udtørring, interimsaflukning og totalinddækning, hvor opvarmning af råhuset udgør mellem 39 % og 72 % af energiforbruget.

Rapportens undersøgelse af mulige energi- og opvarmningstyper konkluderer, at det ud fra en miljømæssig og en økonomisk betragtning bedst kan betale sig, at opvarmningen sker ved fjernvarme eller naturgas. Rapporten peger i denne sammenhæng på at det gælder om at den permanente varmekilde, primært fjernvarme eller naturgas, fremføres så tidligt som muligt og at valget af opvarmningstype er noget, der bør ske i projekteringsfasen og ikke ude på byggepladsen.

Resultatet af rapportens undersøgelser vedr. energisparemuligheder fordelt på enkelte områder er som følger:

Skurby ca. 8 %.

Belysning ca. 7 %

Vinterforanstaltninger ca. 38 %

Andre forhold (valg af beton) op til 20 %

Rapporten gør opmærksom på, at besparelsesforslagene ikke umiddelbart kan summeres op, da nogle af foranstaltningerne overlapper hinanden. Indføres alle nævnte foranstaltninger vil det forventeligt medføre en samlet energibesparelse på ca. 59 %.

4.2 "Gør byggepladsen energirigtig"

Elsparafonden udgav i 2009 en pjece: "Gør byggepladsen energirigtig":

Jf. denne pjece udgør energiudgifterne udgør typisk 1-2 % af entreprisesummen for almindeligt byggeri, når hverken byggeriet eller byggepladsen er indrettet energihensigtsmæssigt. Dette svarer typisk til 3-4 års opvarmning af den færdige bygning. For lavenergibyggeri er perioden endnu længere. Samtidig er der gode og effektive muligheder for at reducere forbruget i forbindelse med byggepladser. Forbruget kan

sandsynligvis halveres, hvis byggeri og byggeplads indrettes hensigtsmæssigt, og der i øvrigt følges op på forbruget.

Ud over at anbefale nogle meget konkrete tekniske tiltag vedr. lukning af byggeriet, opvarmning og udtørring af byggeriet, energiforbruget til selve byggeprocessen, belysning, skure og containere, gives anbefalinger vedrørende planlægning, styring og adfærd på den bæredygtige byggeplads.

Om udtørring oplyses:

”Omkostningerne til udtørring svinger meget afhængig af byggeriets karakter – fra stort set nul ved præfab-byggeri til over 1.000 kr./m² ved tæt/lavt byggeri med stram tidsplan med forceret udtørring med affugtere. Energiomkostningerne udgør omkring halvdelen af disse omkostninger og kan altså svare til flere års forbrug for et moderne velisoleret hus.”

4.3 Innobyg – ”den bæredygtige byggeplads”

I innovationsnetværket Innobyg om den ”bæredygtige byggeplads” blev der arbejdet med match-making-aktiviteter på området og afholdt en workshop vedr. ”skurvogne” med flg. opsummering.

Skurvogne er i dag reguleret ved Arbejdstilsynets Bekendtgørelse 775 af september 1992, som i § 6. foreskriver at:

Stk. 1. Ydervægge skal være isolerede med materiale med en isoleringsevne mindst svarende til 75 mm mineraluld med en lambdaværdi på 0,039 W/m°C.

Stk. 2. Lofter og gulve skal være isolerede med materiale med en isoleringsevne mindst svarende til 100 mm mineraluld med en lambdaværdi på 0,039 W/m°C.

Stk. 3. Vinduer skal være forsynede med 2 lag glas eller lignende eller bestå af termoruder.

Det vurderes, at der i Danmark findes 12 – 15.000 skurvogsenheder med en levetid på ca. 15 – 20 år.

Der arbejdes, blandt fabrikanter og udlejere, med at udvikle energispareforanstaltninger, der dels kan implementeres i nye faciliteter, men også kan opgradere den eksisterende mængde af kontor- og mandskabsfaciliteter.

I flæng kan nævnes energispareforanstaltninger som:

1. Tænd/sluk ure
2. Bevægelsescensorer
3. Natsænkning af varme
4. Målere på skure
5. Dørpumper/mekanisk lukning af døre
6. Vinduer/døre med censorstyring af varme
7. Ventilator/tørreskabe med genvinding
8. Skodder
9. Skørter
10. Varmepumper
11. Andre måder at tænke ”skurvogne” på; at byggepladsens kontor- og mandskabsfaciliteter indrettes med fælles spiserum, fælles bade- og tørrerum etc.

4.4 EnergiCab - Efterisolering af skurby

Som et eksempel på innovation og udvikling på området er virksomheden EnergiCab, der i dag udbyder efterisolering uden på og mellem skure med opstilling i 2 plan, med en estimeret besparelse på energiforbruget på op til 40 % (EnergiCab).

Bespareseresultatet er fremkommet ved konkret måling af energiforbruget i to NCC- skurbyer – en bestående af 10 sammenbyggede skurvogne (5 stk. i to lag) med efterisolering og en lignende opstilling uden efterisolering. Der er målt over vintermånederne november, december og januar.

Skurvognene, der indgik i skurbyen, var isolerede med 95 mm isolering i ydervægge og 145 mm isolering i loft og gulv, og har et energiforbrug pr. skurvogn på 5.600kWh.

Tilsvarende skurvogn udvendigt efterisoleret efter EnergiCabs principper vil have et energiforbrug pr. skurvogn på 3.500 kWh.

Skurvogne isoleret efter Arbejdstilsynets regler med 75 mm isolering i ydervægge og 100 mm isolering i loft og gulv har et energiforbrug pr. skurvogn på 6.224 kWh.

Go' Energi anbefaler 150 mm isolering i ydervægge og 200 mm isolering i loft og gulv, som giver et energiforbrug pr. skurvogn på 4.418 kWh

Ovenstående oplysningerne er givet af Morten Isbrand, EnergiCab.

4.5 Arbejdstilsynets Bekendtgørelse 1516 af 16. december 2010

Bekendtgørelsen, populært kaldet "byggepladsbekendtgørelsen" regulerer arbejdsforholdene for håndværkerne på danske byggepladser.

I bekendtgørelsens kapitel 3 findes et afsnit om temperatur og vejrlig: "Ved udførelsen af arbejdet skal temperaturen være tilpasset den menneskelige organisme under hensyntagen til de anvendte arbejdsmetoder og den fysiske belastning, som de beskæftigede udsættes for".

Bekendtgørelsen nævner ingen grænseværdier i form af bestemte temperaturer, men henviser til konkret vurdering i hvert enkelt tilfælde. Gennem de senere års afgørelser ser det ud til, at arbejde i råhuse kræver minimum interimslukning af huller, oftest huller til vinduer og døre, og at temperaturen alt efter arbejdets art skal være i intervallet 8°C til 18°C, hvilket i øvrigt svarer meget godt til de temperaturforhold, der af fagkonditionelle grunde gælder for byggeaktiviteter som arbejde med gips, fliseopsætning, maling og gulve.

Kravet til "komfortvarme" er indført ved bekendtgørelse af 16. december 2010 og er således forholdsvist nyt og kan ikke påregnes at være fuldt implementeret på samtlige danske byggepladser på nuværende tidspunkt. Fuldt implementeret vurderes det, at dette krav vil medføre et forøget behov for opvarmning og dermed også et øget behov for energi. Dette øgede behov for opvarmning kan forventes at reducere behovet for udtørring/affugtning.

Arbejdstilsynet regner vinteren fra 1. oktober til og med 31. marts. Sådan er det oplyst i At-vejledning om vinterinddækning af råhuse, stilladser m.m. (At-vejledning D.2.11, November 2004), som henviser til "Byggepladsbekendtgørelsen"

4.6 Energiforbrug til udtørring af bygninger efter ibrugtagning

Der har længe været en diskussion om, hvorvidt der er et ekstra energiforbrug i bygninger de første 1-2 år efter ibrugtagning, som følge af et forøget ventilationsbehov og opvarmningsbehov til udtørring af fugtige konstruktioner. Konsortiet stiller sig tvivlende over for om dette behov i virkeligheden eksisterer.

Forklaringen er som følger:

Energien til at tilvejebringe vandafgivelsen i form af vanddamp skal tages fra bygningens opvarmningskilde, men vandafgivelsen/fordampningen fra byggematerialerne er meget langsom af to årsager:

1. Udtøringsprocessen er meget fremskreden (fordampningshastigheden er faldet fra måske 5000 g/m² pr måned til en fordampningshastighed på 500-1000 g pr måned).
2. Fordampningshastigheden er faldet yderligere pga. byggematerialer med forhøjet fugt er afspærret med diverse fugtstoppere. Eksempelvis er betonen afspærret af plastfolie og evt. af et lakeret/olieret trægulv.

Det betyder også, at det almindelige og nødvendige luftskifte i bygningen er rigeligt til at fjerne den marginale mængde ekstra fugt, der måtte være i indeluften.

Siden 2008 har der været krav omkring "tørt" byggeri i Bygningsreglementet. Byggerierne skal ved indflytning være så tørre, at der ikke er sundhedsfare for brugere pga. fugt og skimmel f.eks.

Hvis der, trods ovenstående i nybyggeriet efter indflytning, bliver brugt energi til forøget varme og ventilation, belaster det naturligvis energiforbruget, men årsagen kan altså ikke relateres til udtørring af byggematerialer.

4.7 Totalinddækning

Fordelen ved brug af helinddækning/totalinddækning knytter sig til, at der udføres en midlertidig klimaskærm, der beskytter håndværkerne, materialer og bygningskonstruktioner mod skadelige påvirkninger fra vejrliget under byggeprocessen.

Brug af helinddækning/totalinddækning betyder, at der kan ske en produktivitetsstigning, idet de forbedrede arbejdsforhold øger håndværkernes produktivitet. Forbedret produktivitet opnås endvidere i form af færre spild dage og mindre tid og udgifter til vejrligs- og vinterforanstaltninger f. eks.

Vedrørende reducere af energiforbruget i byggeprocessen vurderes det største potentiale at ligge i den mængde nedbør, som helinddækning/totalinddækning forhindrer i at blive tilført byggeriet, og som derfor i mange tilfælde siden skulle udtørres.

EnergiFlex Husene / Teknologisk Institut

Ved opførelse af EnergiFlex husene hos Teknologisk Institut i perioden dec. 2009 – april 2010 blev husene f.eks. skånet for 11.200 l vand, hvilket sparede byggeriet for væsentlige udgifter til efterfølgende udtørring.

Helinddækning/totalinddækning af bygningen og selve byggeprocessen beskytter mod vindpres og vindens kølende effekt (chilleffekten), men rent opvarmningsmæssigt er det noget vanskeligere at sige, hvad den energimæssige konsekvens heraf er.

I det ovenfor omtalte byggeri, EnergiFlex husene, blev to forskellige typer helinddækning/totalinddækning afprøvet. Det ene var en teltløsning og den anden, en med net inddækket stillads og en overdækning af teltdug. I de kolde måneder januar og februar var udetemperaturen og temperaturen under inddækningerne 0,8 °C altså den samme både ude og inde. Perioden var meget fugtig med en relativ luftfugtighed udendørs > 90 %. I marts og april konstateredes en udetemperatur på henholdsvis 3,7°C og 9,2°C og tilsvarende temperatur under inddækningerne på hhv. 4,1°C og 9,7°C.

Det er tydeligt i de kolde måneder, at utætheder medfører et meget højt luftskifte, der gør at den generelle temperatur under helinddækning/totalinddækning ikke var væsentligt anderledes end udendørstemperaturen.

Dog kan især mange håndværkere melde om perioder, hvor aktivitet og solopvarmning kan gøre det næsten uudholdeligt at arbejde under helinddækning/totalinddækning pga. kondensdannelse og varme, hvorfor der ofte ses uautoriserede ventilationshuller i inddækninger.

**Eksempel på vurdering af effekt behov ved vinterinddækning af stillads (Teknologisk institut/
Vinterbyggeri tidl. Vinterkonsulenterne)**

I forbindelse med et projekt hvor der var behov for at opretholde en temperatur = 10°C under et helinddækket stillads af hensyn til noget tyndpudsarbejde på en facade i løbet af vintermånederne, udarbejdede Teknologisk Institut/ vinterbyggeri en overslagsberegning for at bestemme energibehovet for nogle forskellige scenarier vedr. inddækningsmaterialer og vindhastigheder ved en udetemperatur i intervallet -10°C - 0°C.

Udgangspunkt:

100 m lang og 10 m høj facade i alt 1.000 m². Facadeafdækning i afstanden 1.5 m fra facade (uden betydning for problemstillingen i første omgang) og afdækkende presenninger i bredden 2.5 m med i gennemsnit 1 cm utæt fuge mellem presenningerne.

Ønsket temperatur 10 °C mellem afdækning og facade, så der er mulighed for at arbejde med en filmsning, der ikke tåler frost under arbejdet og skal påføres ved min 5 °C.

Beregningerne findes i bilag 4

Ud fra de gennemførte beregninger kan man umiddelbart vurdere, at det er tætheden af facadens inddækning, der er helt afgørende for energiforbrug og sikkerhed mod for lave temperaturer ved almindelige lufthastigheder.

Ligeledes fremgår det, at selv ved normale vindhastigheder på 5 – 10 m/s skal der gøres noget ekstra ud af fugetætningen, hvis man vil gøre sig håb om at holde en nogenlunde ensartet temperatur i nærheden af den ønskede temperatur på 10 °C i det inddækkede volumen.

Selv hvis beregningerne er en faktor 2 for høje/ugunstige, vil problemstillingen ikke ændres væsentligt.

På nuværende tidspunkt vurderer konsortiet, at der totalt set er en positiv energimæssig effekt ved brugen af helinddækning/totalinddækning, men at der opvarmningsteknisk set skal træffes særlige foranstaltninger for at undgå et stort energiforbrug/varmetab.

4.8 Litteraturscreening af estimater for energiforbrug til udtørring af bygninger i Danmark

I dette afsnit er en række estimater for energiforbrug til udtørring af bygninger på danske byggepladser samlet. Tallene stammer fra beregninger gennemført af Teknologisk Institut, beregninger fra tidligere projekter og fra litteraturen.

Nedenfor er alle estimaterne opsummeret i en tabel, hvor kilderne også er angivet.

Opsummering af estimater

Tabellen nedenfor opsummerer de efterfølgende estimater og kilde-data.

Kilde/metode	Nøgletal [kWh pr. m ²]
Teoretisk minimumforbrug til udtørring ¹	5
Tal fra Skadeservice Danmark	20-40
Tal fra Entreprenør i 1980 ²	60-90
Elsparefonden	0-500
Tal fra projekt om selvudtørrende beton ³	52-91
Tal fra Microz.se	100-150
4 byggeprojekter fra 2000 ⁴	41-71

Tabel 4.8.1

¹ Beregnet ud fra data om vands fordampningsvarme

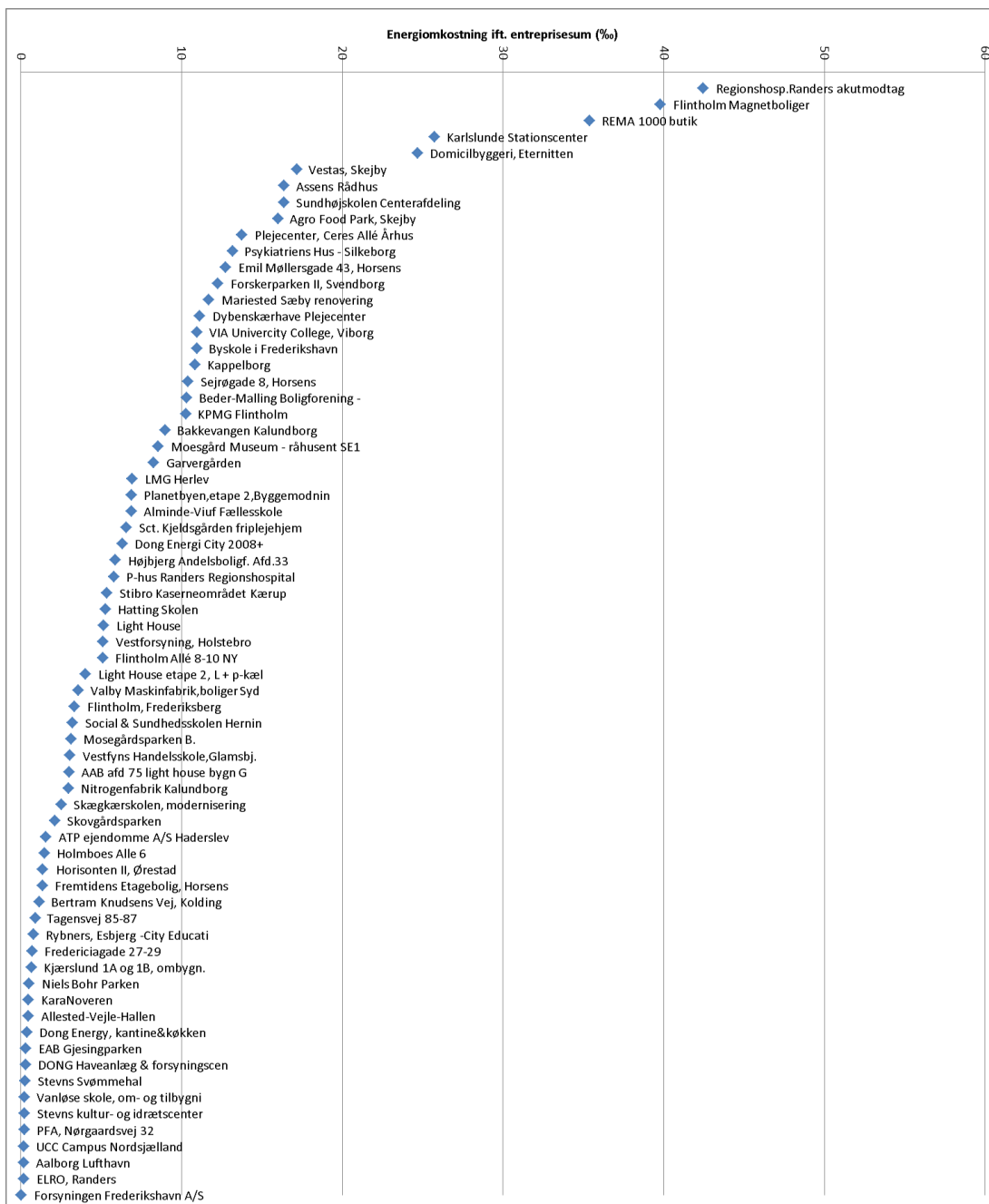
² DTU-rapport: Energiforbruget på byggepladsen, Sigurd Andersen, 1980

³ Pjece: Gulve med selvudtørrende beton – til gavn for byggeriet, udarbejdet af Teknologisk Institut for Dansk Beton/Fabriksbetongruppen, 2007 - 08

⁴ Afgangprojekt fra DTU, 2000

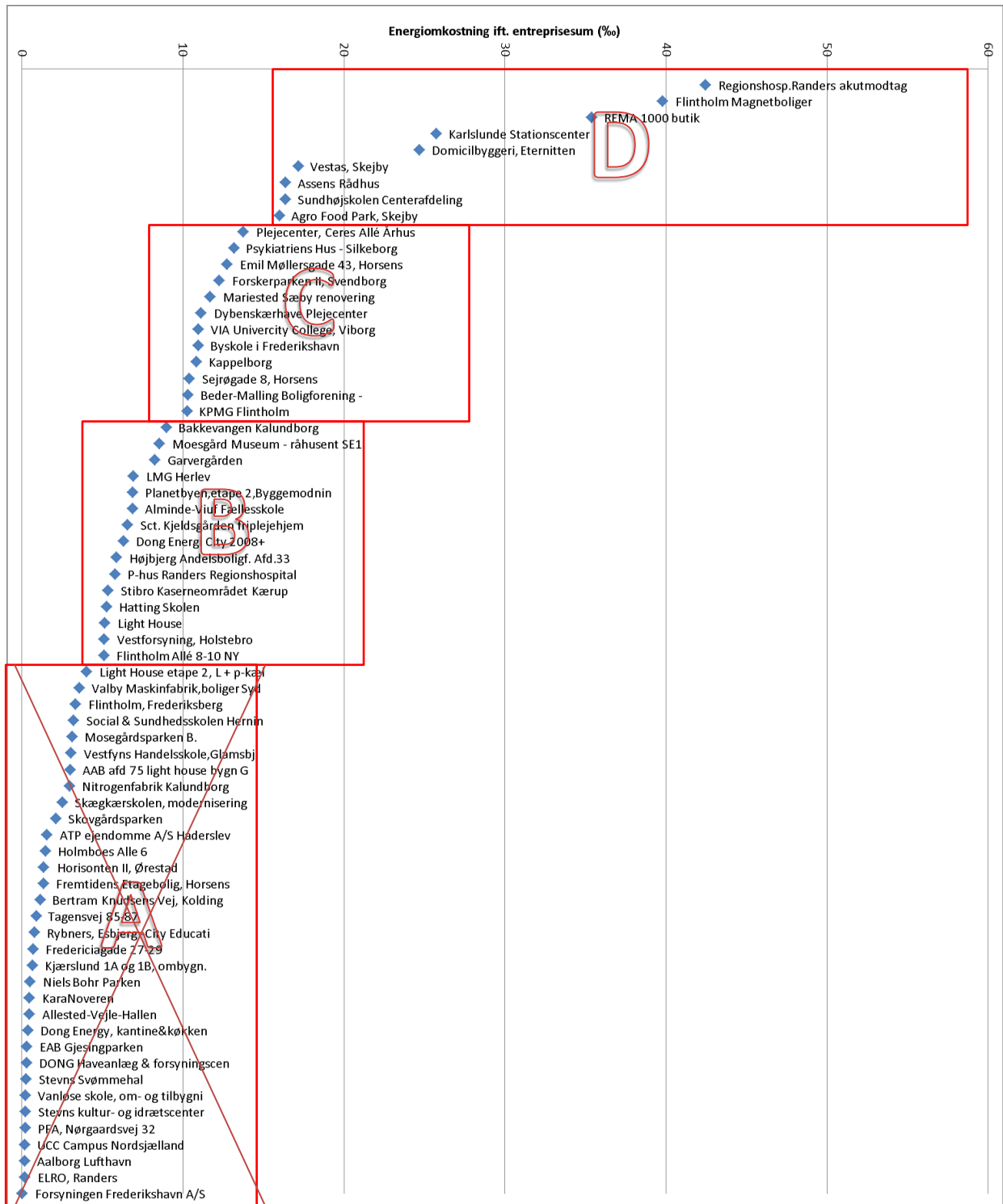
5. Datavask

I forbindelse med beregning af energiestimaterne tages der udgangspunkt i data fra 69 byggeprojekter, hvor der har været et energiforbrug i perioden januar 2010 til november 2012. I Bilag 1 ses data fra de 69 byggeprojekter, herunder byggeprojektets navn, og omkostninger til energiforbrug sat i forhold til entreprisensum. I diagrammet nedenfor ses de 69 byggeprojekter sorteret efter energiomkostningernes andel af entreprisensummen. Det fremgår, at der er stor spredning relativt set i omkostningerne til energi på byggepladserne. Omkostningerne varierer fra 0 % til lidt over 4 % af entreprisensummen.



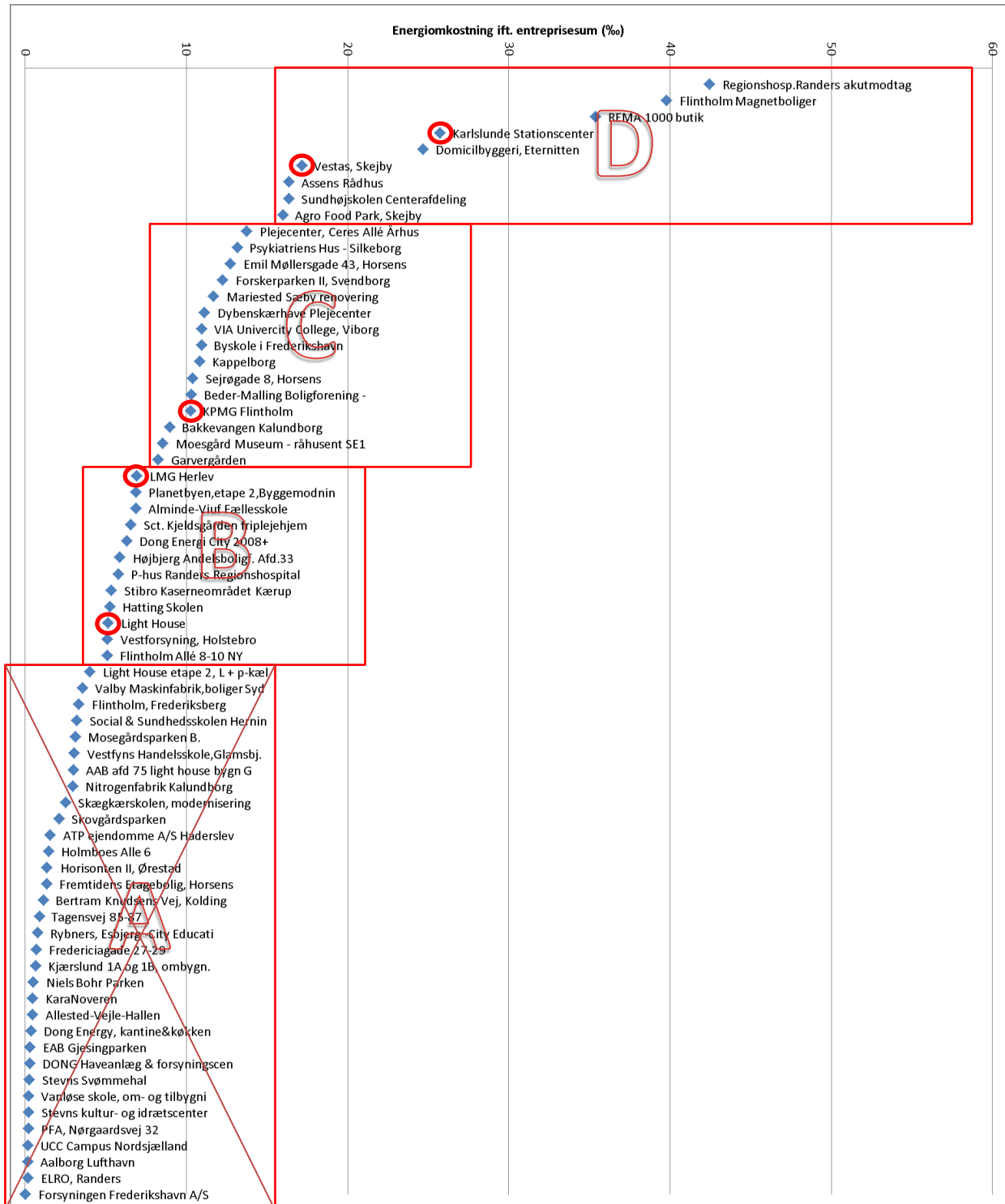
Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Nu opdeles de 69 byggeprojekter i fire puljer A, B, C og D efter antydninger af grupperinger i deres placering i diagrammet. Det er blevet oplyst fra MT Højgaard, at der for projekterne i pulje A er foretaget speciel afregning af energiforbruget for byggeprojekterne, eller der kan være tale om, at der ikke foreligger endelig opgørelser/afregninger endnu. Derfor har konsortiet valgt at lade pulje A udgå i den videre analyse. Puljerne fremgår af diagrammet nedenfor.



Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Fra pulje B, C og D udvælges tilfældigt 1-2 projekter til nærmere analyse. I nedenstående diagram ses hvilke 5 byggeprojekter som er udvalgt til nærmere analyse.



6. Grundlæggende data om byggeprojekterne

KPMG ved Flintholm Station

Byggeperioden er oplyst til at være fra marts 2009 til december 2011.

Antallet af opførte kvadratmeter er oplyst til at være 33.500 eksklusiv parkeringskælder og teknikrum.

Karlsunde Stationscenter

Byggeperioden er oplyst til at være fra april 2011 til juni 2012.

Antallet af opførte kvadratmeter er oplyst til at være 6.200.

LMG - Herlev

Byggeperioden er oplyst til at være fra august 2009 til september 2010.

Antallet af opførte kvadratmeter er oplyst til at være 10.000.

LightHouse - Bygning I

Byggeperioden er oplyst til at være fra november 2010 til maj 2012.

Antallet af opførte kvadratmeter er oplyst til at være 9.000.

Vestas, Skejby

Byggeperioden er oplyst til at være fra januar 2009 til marts 2010.

Antallet af opførte kvadratmeter er oplyst til at være 9.000.

7. Fordeling af energi på forbrugskategorier

De registrerede tal for energiforbruget i byggeprojekterne findes opsummerede i tabelform i afsnit 9. Opsummering af byggeprojektgranskningen.

KPMG ved Flintholm Station

Opvarmning af bygningen i byggeprocessen skete ved hjælp af fjernvarme. Energiforbruget til fjernvarme er oplyst til at være 4.085.600 kWh.

Mandskabsskurene, der er leveret af Ajos, var isolerede med 75 mm isolering i ydervægge og 100 mm isolering i gulv og loft og som sagt forsynet med el- forbrugende varmepumper. På byggepladsen var der 30 enheder placeret i 2 lag. Energiforbruget til opvarmning af mandskabsskure og byggepladskontorer er målt separat vha. bimålere. Energiforbruget til el er oplyst til at være 596.010 kWh.

Energi til proces-el og belysning er ikke målt separat, men det samlede el-forbrug i hele byggeperioden er kendt og oplyst til at være 1.165.641 kWh, hvorfra trækkes energiforbruget til mandskabsskure. Resultatet bliver 569.631 kWh.

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Der er ikke anvendt aktiv udtørring så som affugtere på denne byggeplads. Derimod er udtørringen sket naturligt ved opvarmning og ventilation af bygningen.

Karlsunde Stationscenter

Opvarmning ($> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) af bygningen i slutningen af byggeprocessen skete ved hjælp af fjernvarme. Energiforbruget til fjernvarme er oplyst til at være 79.761 kWh.

Mandskabsskurene og byggepladskontorer, 8 stk. der var sammenbygget i 2 lag, var leveret af Ajos og var isolerede med 75 mm isolering i ydervægge og 100 mm isolering i gulv og loft og forsynet med en varmepumpe. Energiforbruget er ikke målt separat vha. bimålere. Energiforbruget til el er skønnet at være 68.111 kWh. Skønnet bygger på det målte energiforbrug til skurbyen ved byggeriet KPMG, og der er regnet med 50 % merforbrug i vinterhalvåret end i sommerhalvåret.

Energi til proces-el og belysning er ikke målt separat, men det samlede el-forbrug i hele byggeperioden er kendt og oplyst til at være 153.305 kWh, hvorfra trækkes energiforbruget til mandskabsskure. Resultatet bliver 85.194 kWh.

Der er anvendt aktiv udtørring med dieseldrevne blæsekanoner og naturlig ventilation igennem utætheder. Dieselforbruget er oplyst til at være 41.876,8 liter, hvilket omregnet til energi er 418.768 kWh (1 liter olie giver 10 kWh energi).

LMG - Herlev

Opvarmning (udendørstemperatur $+ 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) af råhus skete ved hjælp af fjernvarme. Energiforbruget til opvarmning er oplyst til at være 1.072 MWh.

Den samlede udgift til byggepladsstrøm er oplyst til 280.608,00 kr. Ved en enhedspris excl. moms, der er oplyst til 1,57936 kr./kWh, beregnes forbruget til at have været 177.672 kWh

Mandskabsskure og byggepladskontorer, 14 stk. i alt placeret i 2 lag var leveret af Ajos, og var isolerede med 75 mm isolering i ydervægge og 100 mm isolering i gulv og loft og forsynet med en el- forbrugende varmepumpe, dog er 3 skurvogne suppleret med elvarme. Forbruget er ikke målt separat vha. bimålere. Energiforbruget til el er skønnet at være 115.885 kWh. Skønnet bygger på det målte energiforbrug til skurbyen ved byggeriet KPMG, og der er regnet med 50 % merforbrug i vinterhalvåret end i sommerhalvåret.

Energi til proces-el og belysning er ikke målt separat, men det samlede el-forbrug i hele byggeperioden er kendt og oplyst til at være 177.672 kWh, hvorfra trækkes energiforbruget til mandskabsskure og udtørring. Resultatet bliver 53.219 kWh.

På byggepladsen har der i byggeperioden været anvendt en byggehejs, en mandskabslift og i perioden august – november har der været anvendt en tårnkran til elementmontage.

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Der er anvendt aktiv udtørring med el- forbrugende kalorifere i perioden oktober 2009 til og med april 2010. Elforbruget er oplyst at have været 8.568 kWh.

LightHouse - Bygning I

Opvarmning af bygningen i slutningen efter facadeaflukning skete ved hjælp af fjernvarme og el. Energiforbruget til fjernvarme er oplyst til at være 279 MWh. Energiforbruget til el er oplyst til at være 27 MWh.

Mandskabsskure og byggepladskontorer 12 i alt placeret i 2 lag, var leveret af AJos, og var isolerede med 75 mm isolering i ydervægge og 100 mm isolering i gulv og loft og forsynet med el- forbrugende varmepumper.

Forbruget er ikke målt separat vha. bimålere. Energiforbruget til el skønnes at være 139.069kWh. Skønnet bygger på det målte energiforbrug til skurbyen ved byggeriet KPMG, og der er regnet med 50 % merforbrug i vinterhalvåret end i sommerhalvåret.

Energi til proces-el og belysning er ikke målt separat, men beregnes ved at fratække el til opvarmning, el til skurby det samlede el-forbrug i hele byggeperioden, som er oplyst til at være 273.544 kWh. Resultatet er 134.475 kWh. En stor del af elforbruget er gået til en stor og en lille tårnkran.

Der er anvendt passiv udtørring via den almindelige opvarmning og naturlig ventilation igennem utætheder.

Vestas, Skejby

Opvarmning af bygningen efter facadeaflukning skete ved hjælp af fjernvarme og olie. Energiforbruget til fjernvarme er oplyst til at være 1.284 MWh. Olieforbruget var 10.400 liter svarende til 104.000 kWh.

Opvarmning af 6 vinterisolerede kontorpavilloner i byggeprocessen er sket via el-paneler. Opvarmning af 8 mandskabsskure leveret af Ajos er sket via el- forbrugende varmepumper. Forbruget er ikke målt separat vha. bimålere. Energiforbruget til el skønnes at være 129.129kWh. Skønnet bygger på det målte energiforbrug til skurbyen ved byggeriet KPMG, og der er regnet med 50 % merforbrug i vinterhalvåret end i sommerhalvåret.

Energi til proces-el og belysning er ikke målt separat, men beregnes ved at fratække el til opvarmning og el til skurby fra det samlede el-forbrug i hele byggeperioden, som er oplyst til at være 232.164 kWh. Resultatet er 12.024 kWh. Hoveddelen af proces-el er gået til to små tårnkraner.

Der er anvendt aktiv udtørring vha. oliedrevne varmeblæsere og naturlig ventilation igennem utætheder. Olieforbruget til udtørring er oplyst til at være 15.600 liter svarende til 156.000 kWh.

8. Kortlægning af teknologivalg

Kortlægningen af teknologivalg er som tidligere nævnt sket ved interviews med de ansvarlige byggeledere for de udvalgte byggeprojekter.

I ingen af de undersøgte byggeprojekter har der været tale om forbrug af energi til øget opvarmning eller øget ventilation af hensyn til udtørring efter aflevering/ibrugtagning.

I de aktuelle byggeprojekter har energiforbruget frem til aflevering/ibrugtagning kontraktligt været indeholdt i entreprenørens tilbud og har på den måde været et incitament for entreprenøren til at spare på energien ved hurtigst muligt at lukke råhuset mm. og i øvrigt at spare på udgifterne til energi ved så hurtigt som muligt at få byggeriets varige varmforsyning etableret, da dette er den økonomisk mest fordelagtige energikilde. I de aktuelle tilfælde har det drejet sig om fjernvarme.

Entreprenøren MT Højgaard A/S har en politik om, at der kun må anvendes mandskabs- og kontorfaciliteter på byggepladserne, der er forsynet med eldrevne varmepumper.

KPMG ved Flintholm Station

Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	Proces-el og belysning	Udtørring
Opvarmningsmetode er fjernvarme via bygningens varmesystem	Anvendelse af almindeligt isolerede mandskabsskure	Anvendelse af ur-styring til belysning på byggepladsen	Fordelingen mellem præfabrikerede elementer og in-situ støbte konstruktioner var 80/20.
Interimsaflukning af råhus foregik via lægter og plast	Varmepumper, som sørger for en konstant temperatur på 20 °C	Anvendelse af Energi Manager til daglig overvågning af el-forbrug og synliggørelse af usædvanlige forbrugsmønstre	Marts 2009 til december 2011.
	Bimåler som registrerer forbruget til opvarmning		Luftskiftet er ikke kendt, da det foregik naturligt igennem utætheder i bygningen
	Anvendelse af bevægelsesfølere til belysning i skurby	Mange vinterstøbninger med varmetråde	Der blev ikke anvendt selvudtørrende beton til in-situ støbte konstruktioner

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Karlsunde Stationscenter

Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	Proces-el og belysning	Udtørring
Opvarmningsmetode er fjernvarme via bygningens varmesystem	Anvendelse af almindeligt isolerede mandskabsskure. 4 på 4 med skørter.	Anvendelse af ur-styring til belysning på byggepladsen	Fordelingen mellem præfabrikerede elementer og in-situ støbte konstruktioner var 40/60.
Interimsaflukning af råhus foregik via lægter og 1 lag plast	Varmepumper og el-paneler, som sørger for en konstant temperatur på 20 °C		April 2011 til juni 2012.
Åbningsarealet udgjorde højst 5 % af facadearealet			Luftskiftet er ikke kendt, da det foregik naturligt igennem utætheder i bygningen og Ø300 huller i interimsvinduerne
			Der blev ikke anvendt selvudtørrende beton til in-situ støbte konstruktioner

LMG - Herlev

Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	Proces-el og belysning	Udtørring
Opvarmningsmetode er fjernvarme via bygningens varmesystem	Anvendelse af almindeligt isolerede mandskabsskure. 7 på 7.	Anvendelse af ur-styring til belysning på byggepladsen	Fordelingen mellem præfabrikerede elementer og in-situ støbte konstruktioner var 80/20
Interimsaflukning af råhus foregik via lægter og dobbelt lag plast	Varmepumper som sørger for en konstant temperatur på 20 °C. Mødeskure, 3 moduler, var forsynet med el-radiatorer		August 2009 til september 2010.
Åbningsarealet udgjorde ca. 35 % af facadearealet			Luftskiftet er ikke kendt, da det foregik naturligt igennem utætheder i bygningen
Overdækning af atrium gård og inddækning af stilladser i atriumgården			Der blev ikke anvendt selvudtørrende beton til in-situ støbte konstruktioner

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

LightHouse - Bygning I

Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	Proces-el og belysning	Udtørring
Opvarmningsmetode er fjernvarme via bygningens varmesystem og et mindre el forbrug til varmeblæsere	Anvendelse af almindeligt isolerede mandskabsskure uden skørter	Anvendelse af ur-styring og skumringsrelæ til belysning på byggepladsen	Fordelingen mellem præfabrikerede elementer og in-situ støbte konstruktioner var 100/0.
Interimsaflukning af råhus foregik vha. de blivende vinduer	Varmepumper, som sørger for en konstant temperatur på 20 °C fra kl. 6 – 24. Natsænkning fra kl. 0 – 6.		November 2010 til maj 2012.
			Luftskiftet er ikke kendt, da det foregik naturligt igennem utætheder i bygningen

Vestas, Skejby

Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	Proces-el og belysning	Udtørring
Opvarmningsmetode er fjernvarme via bygningens varmesystem og oliedrevne varmeblæsere	Anvendelse af 6 vinterisolerede kontorpavilloner og 8 almindeligt isolerede mandskabsskure uden skørter	Anvendelse af ur-styring og skumringsrelæ til belysning på byggepladsen	Fordelingen mellem præfabrikerede elementer og in-situ støbte konstruktioner var 100/0.
Interimsaflukning af råhus foregik vha. de blivende vinduer	Varmepumper og el-paneler, som sørger for en konstant temperatur på 20 °C fra kl. 6 – 24. Natsænkning fra kl. 0 – 6.		Januar 2009 til marts 2010.
			Luftskiftet er ikke kendt, da det foregik naturligt igennem utætheder i bygningen

9. Opsummering af byggeprojektgranskningen

I tabellen nedenfor er resultatet af de analyserede byggepladser samlet. Energiforbruget er fordelt på fire forskellige kategorier og målt i kWh/ m² bebygget areal.

Projekt	Opvarmning af bygning kWh/m ²	Udtørring kWh/m ²	Opvarmning + udtørring kWh/m ²	Opvarmning af skurby kWh/m ²	Proces-el og belysning kWh/m ²	I alt kWh/m ²
KPMG Flintholm	121,96	0,00	121,96	17,79	17,00	156,75
Karlslunde Stationscenter	12,86	67,50	80,36	10,99	13,75	105,1
LMG - Herlev	107,20	0,86	108,06	11,59	5,32	124,97
Lighthouse – Bygning 1	34,00	0,00	34,00	15,45	14,94	64,39
Vestas, Skejby	154,22	17,33	171,55	14,35	11,50	197,40
Gennemsnit	86,04	17,13	(103,17)	14,03	12,50	129,72
%vis fordeling	66,3 %	13,2 %	(79,5 %)	10,8 %	9,6 %	-100 %

Tabel 9.1

Det ses at opvarmning og udtørring i de fem undersøgte projekter andrager ca. 80 % af det samlede energiforbrug, skurbyen ca. 11 % og proces-el og belysning ca. 10 %.

Opvarmning og udtørring

I undersøgelsen har det vist sig umuligt at gennemføre en præcis sondring mellem energiforbrug til opvarmning og energiforbrug til decideret udtørring. Konsortiet vurderer, at energiforbrug, som er angivet under opvarmning af bygningen reelt også dækker over et forbrug til udtørring, idet den mest udbredte udtørringsmetode på danske byggepladser er opvarmning og naturlig ventilation. Derfor bør disse to områder indtil videre ses i sammenhæng. Derfor er der i tabel 9.1 indført en kolonne, hvor energiforbrug til opvarmning og til udtørring er summeret op. I det omfang energiforbrug til udtørring er kendt, er det noteret i kolonnen udtørring.

På alle de undersøgte byggepladser er råhuset blevet lukket så tidligt som muligt med interimslukninger eller med blivende vinduer, da det har været en høj prioritet at opvarmningen tidligst muligt skete via byggeriets endelige varmforsyning. I alle tilfælde drejede dette sig om fjernvarme, som i denne sammenhæng er den billigste energikilde.

Vedr. Vestas og Lighthouse, som i opsummeringen udgør henholdsvis top og bund, vurderes dette at hænge sammen med, at Vestas (9.000 m²) har en forholdsvis kort byggetid på 14 måneder under vejrforhold, der var præget af nedbør og kulde, hvorimod Lighthouse (også 9.000 m²) har en længere byggetid på 19 måneder under vejrforhold, der var tørrere og lunere.

Opvarmning af skurby

På byggepladserne, der indgår i denne undersøgelse, er alle skurvogne lejet fra Ajos, som får produceret og udlejer skurvogne, der er isoleret med 75 mm isolering i vægge og isoleret med 100 mm i gulv og loft, som

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

er Arbejdstilsynets krav til isolering. Skurvognene er udstyret med el- forbrugende varmepumpe frem for el-paneler. Det er blevet oplyst, at Ajos pt. har 1100-1200 enheder af denne slags.

Det vurderes i øvrigt, at ca. 80 % af skurvognene på de danske byggepladser er bygget efter et koncept, hvor der er isoleret med 95 mm isolering i vægge og 145 mm isolering i loft og gulv og udstyret med el-paneler.

Opvarmning af skurbyer med traditionelle el-paneler er mere energiforbrugende, men der findes ikke veldokumenterede tal for forskellen mellem de to opvarmningsmetoder. Derudover findes der ikke varmepumper, der er dimensioneret til de gængse rumstørrelser i traditionelle moduler (12-15 m²). Når varmepumpen ikke er dimensioneret korrekt til et rum, vil det have negativ betydning for varmepumpens COP-faktor. Det betyder, at varmepumpen kommer til at virke under mindre gunstige driftsbetingelser. Alt i alt er varmepumpen mere energieffektiv end el-paneler, men stadigvæk med et uudnyttet potentiale i forhold til energieffektivisering.

Alle skurbyerne i denne undersøgelse var forsynede med natsækning, og opvarmning af u-isolerede materialecontainere var forbudt.

Proces-el og belysning

På alle de undersøgte byggeprojekter er byggepladsbelysningen forsynet med ur- styring og skumringsrelæ, og på en enkelt byggesag benyttes et overvågningsprogram "Energi Manager" til daglig overvågning af elforbrug og synliggørelse af usædvanlige forbrugsmønstre.

Det har vist sig umuligt at afdække fordelingen af energiforbruget på dette område, idet det omfatter energiforbrug til mange forskelligartede aktiviteter.

- Kraner, hejs, arbejdsplatforme ol. el-forbrugende redskaber forbruger kun energi, når de er aktiverede, og det er vanskeligt at vurdere i hvilket omfang, at de har været aktiverede i de enkelte byggesager, dertil kommer at denne type redskaber vælges ud fra nogle andre parametre en energiforbrug f. eks. kan valg af tårnkran kontra mobilkran (dieseldrevne), arbejdsplatforme kontra stillads dreje sig om en vægtning af etableringsomkostninger, fleksibilitet og egnethed til opgaven.
- Håndværktøj, mindre maskiner og arbejdsbelysning i forbindelse med de enkelte byggeaktiviteter, tages hovedsageligt fra flytbare el-tavler på byggepladsen. Valget af værktøj og driftstid kendes ikke.
- Orienteringslys, der oftest består af mastelys på selve byggepladsen og lyskæder langs flugt- og adgangsveje. Omfanget er meget afhængigt af de enkelte byggesager og deres fremdrift. På ingen af de undersøgte byggesager er belysning registreret særskilt.

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Estimatet for hver kategori er i tabellen nedenfor sat i relation til den enkelte bygnings beregnede årlige energibehov i henhold til bygningsreglementet.

Projekt	Byggeperiode (måneder)	BR10 Energiramme (kWh/m ²)	Opvarmning af bygning	Opvarmning af skurby	Proces-el og belysning	Udtørring
KPMG Flintholm	34	71,3 (71,3 + 1650/33.500 m ²)	1,7 år	0 år	0,2 år	0,2 år
Karlsunde Stationscenter	15	71,6 (71,3 + 1650/6.200 m ²)	0,2 år	0,9 år	0,2 år	0,2 år
LMG - Herlev	14	71,5 (71,3 + 1650/10.000 m ²)	1,5 år	0 år	0,2 år	0,1 år
Lighthouse – Bygning i	19	52,7 (52,5 + 1650/9.000 m ²)	0,6 år	0 år	0,3 år	0,3 år
Vestas, Skejby	15	71,5 (71,3 + 1650/9.000 m ²)	2,2 år	0,2 år	0,2 år	0,2 år

Tabel 9.2: Energiforbrug på byggepladsen omregnet til den færdige bygnings energiforbrug i antal år

10. Udpegning af energisparetiltag og estimering af energimæssige og økonomiske potentialer

I dette afsnit er indsatser og energisparepotentialer inden for hver af de fire kategorier beskrevet.

- Opvarmning af den nye bygning på byggepladsen
- Opvarmning af mandskabsskure og byggepladskontorer i byggeprocessen
- Energi til proces-el og belysning
- Udtørring af bygningen

Opvarmning af den nye bygning på byggepladsen

Den vigtigste faktor i forhold til energiforbrug til opvarmning af den nye bygning er lufttætheden af klimaskærmen. Energiforbruget stiger voldsomt, når lufttætheden forringes. I tabellen nedenfor er der anvendt de samme forudsætninger omkring luftskifte, som blev anvendt i DTU-rapporten "Energiforbrug på byggepladsen", hvor der regnes på energitab ved et luftskifte på henholdsvis 4, 1 og 0,5 gange i timen.

Den bedste løsning er, at indsætte de endelige vinduer og døre inden der sættes varme på bygningen. Alternativt skal der anvendes interimsaflukningssystemer, hvor der er en høj grad af lufttæthed ved samlinger.

Ved mindre bygninger kan en totalinddækning eller inddækkede stilladser reducere vindtrykket på bygningen markant, hvilket også vil have positiv indvirkning på energiforbruget til opvarmning af bygningen.

Endelig kan muligheden for natsenkning af varmen overvejes. Det kræver dog, at den generelle opvarmning af bygningen ikke har en udtørrende funktion, men udelukkende anvendes til komfortvarme. I praksis betyder det, at når byggepladsen forlades om eftermiddagen slukkes centralt for varmetilførslen. Varmen tændes igen 2-3 timer før byggepladsen igen starter op. Det betyder, at der i gennemsnit slukkes

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

for varmen 12 timer pr. døgn. Hvis det antages, at der ikke bruges større varmeeffekt til at opvarme bygningen om morgenen efter en natsænkning, estimeres det at dette tiltag vil give en besparelse på 50 % af forbruget til opvarmning eller 32,9 % af det samlede energiforbrug på byggepladsen.

I tabellen nedenfor ses den absolutte og relative energibesparelse, pris og tilbagebetalingstid ved et konkret tiltag. Den absolutte værdi er fundet ved at gange estimatet for det gennemsnitlige energiforbrug (130 kWh/m²) med procentsatsen. Kun tiltaget "Natsænkning af varme" kan kombineres med andre tiltag. Dog ikke "Flytning af byggeri til sommerperioden". Ved kombination med "Natsænkning af varme" skal der multipliceres med procentbesparelsen og ikke adderes. Det er vanskeligt at prissætte energisparetiltag, men i tabellen nedenfor er konsortiets bud og en konsekvensberegning i forhold til tilbagebetalingstider på tiltagene. Ved beregning af tilbagebetalingstider er der anvendt priser fra DTU-rapporten (priserne er fremskrevet til nutidskroner) og materieludlejerer Ajos (dagspriser), og de aktuelle energibesparelser er set i forhold til en gennemsnitlig byggeperiode på 19,4 måneder, som er gennemsnittet af de fem undersøgte byggeprojekter.

Formel:

Tilbagebetalingstid i timer = Pris på tiltag / (Energiomkostningsbesparelse i hele byggeperioden (1 kr./kWh)/(19,4 måneder * 30 døgn * 24 timer))

Når denne formel anvendes bliver tallet for tilbagebetalingstiden et gennemsnitstal med en gennemsnitlig fordeling mellem sommer og vintermåneder. Regnes der på et byggeprojekt med en atypisk fordeling mellem sommer og vintermåneder vil tilbagebetalingstiden være anderledes.

Tiltag	Energibesparelse ⁵	Pris eks. moms	Tilbagebetalingstid
Vinduesinddækning med to lag plast frem for trælægter (luftskifte 1 h ⁻¹)	25,9 kWh/m ² (20 %)	3,30 kr./m ²	2,5 måneder
Altiflex termoindækning (u-værdi: 2,6) frem for trælægter (luftskifte 0,5 h ⁻¹)	44,7 kWh/m ² (34,5 %)	3,30 kr./m ²	1,4 måneder
Lukning med endelige vinduer og døre (u-værdi: 1,3) frem for trælægter (luftskifte 0,5 h ⁻¹)	49,2 kWh/m ² (37,9 %) ⁶	-	-
Totalinddækning/stilladsinddækning	41,1 kWh/m ² (31,7 %)	10,84 kr./m ²	5,1 måneder
Natsænkning af varme	43,4 kWh/m ² (33,5 %)	0,18 kr./m ²	0,1 måneder
Flytning af byggeri til sommerperioden	101,6 kWh/m ² (78,3 %)	-	-

Tabel 10.1

⁵ Tal fra DTU-rapport: "Energibesparelser på byggepladsen", 2000

⁶ Det antages at transmissionstab udgør 10 % af ventilationstab

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Energiforbrug i mandskabsskure og byggepladskontorer i byggeprocessen

Inden for **mandskabsskure og byggepladskontorer** i byggeprocessen er der en række tiltag, som kan nedbringe energiforbruget. I overskrifter kan nævnes:

- Tænd/sluk ure
- Bevægelsessensorer
- Natsænkning af varme
- Målere på skure
- Dørpumper/mekanisk lukning af døre
- Vinduer/døre med sensorstyring af varme
- Ventilation med varmegenvinding
- Skørter
- Varmepumper
- Vinterisolerede skure
- Andre måder at tænke "skurvogne" på; at byggepladsens kontor- og mandskabsfaciliteter indrettes med fælles spiserum, fælles bade- og tørrerum etc. og udføres så de lever op til energikravene i BR2015.

I tabellen nedenfor ses den absolutte og relative energibesparelse, pris og tilbagebetalingstid ved et konkret tiltag. Den absolutte værdi er fundet ved at gange estimatet for det gennemsnitlige energiforbrug (130 kWh/m^2) med procentsatsen. Allerede implementerede tiltag (for at komme ned på 130 kWh/m^2) er markeret med blå. Alle tiltag kan kombineres med undtagelse af "Pavillonbygning BR2015 frem for skurby", som kun kan kombineres med "Bevægelsessensorer", "Måler på skurby" og "Natsænkning af varme".

Tiltag	Energibesparelse ⁷	Pris	Tilbagebetalingstid
Bevægelsessensorer	1,7 kWh/m ² (1,3 %)	2 kr./m ²	23 måneder
Måler på skurby	2 kWh/m ² (1,5 %)	2,89 kr./m ²	28 måneder
Natsænkning af varme	2,3 kWh/m ² (1,8 %)	3,1 kr./m ²	26 måneder
Dørpumper/mekanisk lukning af døre	0,8 kWh/m ² (0,6 %)	2,53 kr./m ²	61,3 måneder
Ventilation med varmegenvinding	16,8 kWh/m ² (13 %)	30 kr./m ²	3,47 måneder
Skørter og tætning af samlinger mellem skurvogne	6,4 kWh/m ² (4,9 %)	3,1 kr./m ²	9 måneder
Varmepumper	16,8 kWh/m ² (13 %)	12,44 kr./m ²	1,43 måneder
BR2015 skure	18,1 kWh/m ² (14 %)	12 kr./m ²	13 måneder
Pavillonbygning BR2015 frem for skurby	18,1 kWh/m ² (14 %)	24 kr./m ²	26 måneder

Tabel 10.2

⁷ Tal fra DTU-rapport: "Energibesparelser på byggepladsen", 2000, EnergiCab og materieludlejer AJos

Energi til proces-el og belysning

Det er ikke lykkedes at identificere oplagte energisparetiltag inden for området energi til proces-el og belysning. Bevægelsesfølere og tænd/sluk ure har været implementeret i de undersøgte byggeprojekter. Inden for området sker der løbende en teknologisk udvikling, både når det gælder håndværktøj, redskaber og belysning, som løbende implementeres.

Særligt fremhæver materieludlejerer Ajos, at udviklingen af ny lyskildeteknologi som LED/ elsparepærer snart vil blive introduceret i deres udlejningsprogram for orienterings- og arbejdsbelysning som erstatning for halogenlamper etc.

Udtørring

Inden for **udtørring af bygningen** er der ligeledes en række tiltag, som kan nedbringe energiforbruget. I udgangspunktet skal byggematerialer opbevares tørt på byggepladsen, og den ny bygning skal så tidligt som muligt sikres mod indvendig opfugtning fra nedbør. Endelig er det en fordel rent energimæssigt at minimere in situ støbninger og i øvrigt at tilstræbe at gennemføre betonstøbninger i sommerhalvåret og udnytte den naturlige varme til udtørring. Derudover er der en række teknologivalg, som kan reducere energiforbruget.

Traditionelt anvendes passiv opvarmning og naturlig ventilation som den mest udbredte udtørringsmetode på danske byggepladser. Men den metode er ekstremt ineffektiv rent udtørringsteknisk, da effektiv udtørring af konstruktioner kræver en stor forskel i partialdamptryk mellem det fugtige materiale og omgivelserne. Dette gøres typisk ved at etablere en stor temperaturforskkel, som skaber et drivtryk, som presser fugten ud af materialet, hvorefter det kræver et minimum af luft at transportere fugten videre ud af bygningen. Opvarmes hele bygningen uden brug af affugtere vil alle materialer have stort set samme temperatur som luften inde i bygningen. Dermed er drivtrykket stort set lig nul og udtørringen tager op til 20 gange længere tid sammenlignet med en effektiv målrettet udtørring.

Ved udregning af tilbagebetalingstiden er de sparede udgifter ifm. udskiftning af fugtskadede byggematerialer ikke medtaget. Byggeskadefonden opgør disse omkostninger til ca. 4 kr. pr. m² (se datagrundlag i bilag 2).

Endvidere er de sparede udgifter til dagbøder som følge af forsinkelser heller ikke medtaget. Det har ikke været muligt at fremskaffe brugbare tal for disse omkostninger, men begge størrelser er naturligvis med til at forkorte tilbagebetalingstiderne for nedstående tiltag.

Beskrivelse af den mest energieffektive metode til udtørring af gulve

Selve metoden består i, at man opvarmer gulvet med el-gulvvarmekabler, der udlægges i et mønster, der svarer til den effekt, der skal benyttes til udtørringen af den givne konstruktion.

Varmen dirigeres ned i konstruktionen ved at isolere konstruktionen over varmekablerne med 50 -100 mm trykfast rockwool med en rumvægt omkring 60 – 80 kg/m².

(Måske senere med en lavere rumvægt, der indkapsles med 3 mm krydsfiner til et stivere og trædefast (gulv-)element, men det vil nok gå ud over udtørringshastigheden).

Elvarmekablerne lægges typisk ud med en parallelafstand på 200 – 400 mm afhængig af opgaven og den nødvendige effekt.

Ventilationen bibringes uden brug af mekanisk ventilation, idet isoleringen er diffusionsåben og derfor uhindret (næsten, 3 betydende cifre) tillader fugten at fordampe. Isoleringen bliver nogenlunde lufttæt, stabil og trædefast.

Tilførslen af el reguleres med en almindelig termostat, således at luften/konstruktionen ikke opvarmes mere end til 40 – 50 °C.

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Tiltag	Energibesparelse ⁸	Pris	Tilbagebetalingstid
Sorptionsaffugtning, styret temperatur og luftskifte frem for udtørring ved opvarmning af bygningen	6,6 kWh/m ² (5,1 %)	14,76 kr./m ²	43 måneder
Luftindblandet, selvudtørrende beton	23,1 kWh/m ² (17,8 %)	34 kr./m ²	29 måneder
Luftindblandet beton	9,9 kWh/m ² (7,6 %)	5 kr./m ²	10 måneder
Selvudtørrende beton med 10 % microsilica	26,4 kWh/m ² (20,3 %)	108 kr./m ²	79 måneder
Forceret udtørring med varmetråde og isolering	16,4 kWh/m ² (12,6 %)	110 kr./m ²	125,6 måneder

⁸ Tal fra DTU-rapport: "Energibesparelser på byggepladsen", 2000

11. Konklusion

Formålet med denne rapport var at udarbejde estimater over hvilke energisparepotentialer, der ligger i eventuelt kommende indsatser rettet mod energiforbruget i selve byggeprocessen samt at opsummere eksisterende viden på området.

Det væsentligste del af analysearbejdet er de byggepladsdata, som er blevet leveret af MT Højgaard, samt de gennemførte interviews med byggepladsansvarlige for 5 byggeprojekter fra perioden 2010 til 2012.

Det viser sig, at hovedparten af MT Højgaards byggepladser har et omkostningsniveau til energi på byggepladsen, som ligger under 1,5 % af entreprissummen. Det er faktisk lavt set i forhold til, at det tidligere er vurderet, at gennemsnittet for danske byggepladser ligger på et niveau på ca. 1,5 %.

Omregnes energiforbruget i byggefasen til driftsår med energiforbrug, svarer energiforbruget på den mest energikrævende byggeplads til lige under 3 års forbrug, hvilket altså ligger i den lave ende af tal, der tidligere har været fremme. Her har der tidligere været nævnt tal som 3-4 års forbrug.

Kigges der på fordelingen af energiforbrug på de fire forbrugskategorier: opvarmning af bygningen, opvarmning af skurbyen, proces-el og belysning og udtørring viser det sig ud fra de analyserede byggeprojekter, at næsten 80 % af energiforbruget går til opvarmning og udtørring af bygningen. Tidligere undersøgelser er kommet frem med et tal, som hedder ca. 70 %. På baggrund af dette er det konsortiets anbefaling at hovedfokus lægges på energibesparelser inde for denne kategori.

Inden for fugthåndtering og opvarmning af bygningen er der flere oplagte energisparetiltag, med fornuftige tilbagebetalingstider, som er nævnt i rapporten, men de væsentligste er opsummeret her:

- Planlægning af byggeprocessen.
En energieffektiv byggeplads starter med intelligent planlægning af selve opførelsen og her kan anbefalingerne i denne rapport anvendes mere eller mindre direkte.
- Håndtering af byggematerialer.
Med hensyn til materialehåndtering på byggepladsen er nøglesætningen: "Ingen unødigt fugttilførsel". Dvs. byggematerialer skal opbevares tørt uden risiko for opfugtning og bygningen sikres, så nedbør ikke giver anledning til opfugtning af konstruktionsdele.
- Lufttæthed og opvarmning.
Den vigtigste enkeltparameter i forhold til energiforbruget til opvarmning af bygningen er lufttætheden i klimaskærmen. Utætheder giver anledning til et væsentligt merforbrug til opvarmning af bygningen. Det anbefales, at der kommer et øget fokus på dette område. Endelig skal det nævnes at generel opvarmning af bygningen er en ekstrem ineffektiv måde at udtørre materialer på. Opvarmning skal ske af hensyn til komfort ikke udtørring. Når opvarmningen sker udelukkende af hensyn til komforten kan man med fordel anvende natsækning, som er med til at reducere energiforbruget væsentligt.

12. Bilag

Bilag er vedlagt rapporten i nævnte rækkefølge:

Bilag 1: Energiomkostninger ifm. 69 byggeprojekter

Bilag 2: Byggeskader i Byggeskadefonden

Bilag 3: DMI's oversigt over sæsonens vejr fra vinteren 2009 – 2010 til og med efteråret 2012.

Bilag 4: Eksempel på vurdering af effekt behov ved vinterinddækning af stillads (Teknologisk institut/
Vinterbyggeri)

Bilag 1: Energiomkostninger ifm. 69 byggeprojekter

Projekt	Energiandel i promille
Agro Food Park, Skejby	15,96596
Allested-Vejle-Hallen	0,426883
Alminde-Viuf Fællesskole	6,860028
Assens Rådhus	16,35574
ATP ejendomme A/S Haderslev	1,519093
Bakkevangen Kalundborg	8,976232
Beder-Malling Boligforening -	10,29282
Bertram Knudsens Vej, Kolding	1,112512
Byskole i Frederikshavn	10,92063
Domicilbyggeri, Eternitten	24,64586
Dong Energi City 2008+	6,299581
Dong Energy, kantine & køkken	0,364936
DONG Haveanlæg & forsyningscenter	0,285922
Dybenskærhave Plejecenter	11,11102
EAB Gjesingparken	0,294294
ELRO, Randers	0,162416
Emil Møllersgade 43, Horsens	12,71038
Flintholm Allé 8-10 NY	5,081786
Flintholm Magnetboliger	39,77021
Flintholm, Frederiksberg	3,3022
Forskerparken II, Svendborg	12,23638
Forsyningen Frederikshavn A/S	0
Fredericiagade 27-29	0,681688
Fremtidens Etagebolig, Horsens	1,311748
Garvergården	8,247223
Hatting Skolen	5,245906
Holmboes Alle 6	1,436223
Horisonten II, Ørestad	1,339244
Højbjerg Andelsboligforening. Afd.33	5,856806
Kappelborg	10,81599
KaraNoveren	0,434834
Karlsunde Stationscenter	25,72412
Kjærslund 1A og 1B, ombygning	0,645264
KPMG Flintholm	10,23483
Light House	5,134599
Light House etape 2, L + p-kælder	3,993016
LMG Herlev	6,895725
Mariested Sæby renovering	11,67012
Moesgård Museum - råhusent SE1	8,532202
Mosegårdsparken B.	3,087672
Niels Bohr Parken	0,47741
Nitrogenfabrik Kalundborg	2,923237

PFA, Nørugaardsvej 32	0,185942
P-hus Randers Regionshospital	5,751365
Planetbyen, etape 2, Byggemodnin	6,865989
Plejecenter, Ceres Allé Århus	13,71925
Psykiatriens Hus - Silkeborg	13,15176
Regionshosp. Randers akutmodtagelse	42,43956
REMA 1000 butik	35,3513
Rybners, Esbjerg -City Education	0,750171
Sct. Kjeldsgården friplejehjem	6,534489
Sejrøgade 8, Horsens	10,38863
Skovgårdsparken	2,104879
Skægkærskolen, modernisering	2,479329
Social & Sundhedsskolen Herning	3,195614
Stevns kultur- og idrætscenter	0,202583
Stevns Svømmehal	0,252992
Stibro Kaserneområdet Kærup	5,33615
Sundhøjsskolen Centerafdeling	16,32987
Tagensvej 85-87	0,879057
UCC Campus Nordsjælland	0,170475
Valby Maskinfabrik, boliger Syd	3,56285
Vanløse skole, om- og tilbygning	0,206973
Vestas, Skejby	17,13772
Vestforsyning, Holstebro	5,100039
Vestfyns Handelsskole, Glamsbj.	3,029149
VIA Univercity College, Viborg	10,95033
AAB afd. 75 light house bygn. G	2,992751
Aalborg Lufthavn	0,163482

Bilag 2: Byggeskader i Byggeskadefonden

Byggeskader i Byggeskadefonden anerkendt fra 1986 til og med 2007 i bebyggelser opført i samme periode							
1.900 anerkendte byggeskader							
10.104 bebyggelser opført 1986 - primo 2007 med 201.902 boliger, svarende til ca. 20 boliger pr. bebyggelse							
Antal bebyggelser pr. bygningsdel skønnet efter fordelingen 1998 - 2006							
Udgifterne til udbedringer er inkl. bygningsejers andel og inkl. moms.							
Byggeskadefonden den 8. januar 2008/JW							
Bygningsdele	Bebyggelser med skade	Boliger i disse bebyg.	Udbedring af skader kr.	Gns. pr. bolig	Bebyggelser i alt opf. 86-07	Boliger i alt opf. 86-07	Gns. pr. bolig i alt
<i>1.4</i>							
Terrændæk i terrænniveau	3 stk.	85 stk.	1.040.000 kr.	12.200 kr.	8.690 stk.	173.800 stk.	6 kr.
<i>* 1.4</i>							
Terrændæk i terrænniveau Inkl. slagge under terrændæk	5 stk.	149 stk.	7.650.000 kr.	51.300 kr.	8.690 stk.	173.800 stk.	40 kr.
<i>4.3</i>							
Uventilerede paralleltag	15 stk.	429 stk.	45.120.000 kr.	105.200 kr.	1.820 stk.	36.400 stk.	1.240 kr.
<i>4.4</i>							
Løfter mod inspicerbart tagrum	1 stk.	8 stk.	191.000 kr.	23.900 kr.	8.080 stk.	161.700 stk.	1 kr.
<i>5.1</i>							
Terrændæk i vådrum	0 stk.	0 stk.	0 kr.	0 kr.	8.790 stk.	175.800 stk.	0 kr.
<i>5.2</i>							
Etagedæk i vådrum	2 stk.	55 stk.	3.752.000 kr.	68.200 kr.	4.240 stk.	84.900 stk.	40 kr.
<i>5.3</i>							
Ydervægge i vådzone i vådrum	0 stk.	0 stk.	0 kr.	0 kr.	6.770 stk.	135.400 stk.	0 kr.
<i>5.5</i>							
Indervægge i vådzone i vådrum	3 stk.	96 stk.	619.000 kr.	6.400 kr.	9.600 stk.	192.000 stk.	3 kr.
<i>5.9</i>							
Ventilation i vådrum	3 stk.	68 stk.	1.145.000 kr.	16.800 kr.	9.600 stk.	192.000 stk.	6 kr.
<i>7.6</i>							
Ventilation, fordeling i bolig	2 stk.	95 stk.	4.200.000 kr.	44.200 kr.	9.600 stk.	192.000 stk.	20 kr.

Bilag 3: DMI – vejrdata for perioden vinter 2008 – 2009 til og med efteråret 2012.

DMI's oversigt over sæsonens vejr, vinter 2008 – 2009 til og med efteråret 2012.

Vinter dec. 2008 – feb. 2009	Vinteren 2008-2009 var nedbørfattig, lidt varmere end normalt og med lille underskud af sol
Forår mar. 2009 – maj 2009	Temmeligt varmt og meget solrigt forår 2009
Sommer jun. 2009 – aug. 2009	Lun og solrig sommer 2009 med overskud af nedbør
Efterår sep. 2009 – nov. 2009	Temmelig varmt efterår 2009 med overskud af både nedbør og sol
Vinter dec. 2009 – feb. 2010	Vinteren 2009-2010 var meget kold med underskud af nedbør og overskud af sol
Forår mar. 2010 – maj 2010	Næsten normalt forår 2010
Sommer jun. 2010 – aug. 2010	Lun sommer 2010 med overskud af regn og sol
Efterår sep. 2010 – nov. 2010	Koldere end normalt efterår med overskud af både nedbør og sol
Vinter dec. 2010 – feb. 2011	Vinteren 2010-2011 var kold og solrig med underskud af nedbør.
Forår mar. 2011 – maj 2011	Varmt og usædvanlig solrigt forår 2011
Sommer jun. 2011 – aug. 2011	Anden vådeste sommer med overskud af varme og et lille underskud af sol.
Efterår sep. 2011 – nov. 2011	Varmt og tørt efterår 2011
Vinter dec. 2011 – feb. 2012	Vinteren 2011-2012 var varm, våd og yderst solrig.
Forår mar. 2012 – maj 2012	Lunt og solrigt forår 2012.
Sommer jun. 2012 – aug. 2012	Koldeste sommer siden 2000. Vådere og solfattigere i forhold til perioden 2001-2010
Efterår sep. 2012 – nov. 2012	Vådt og gråt efterår 2012 i forhold til perioden 2001-2010.

Uddrag af DMI's Årsoversigter for årene 2009 - 2012

Årsoversigt	Luft temp.		Nedbør		Graddage	
	Normal	Middel	Normal	Sum	Normal	Skygge
2009	7,7 °C	8,8 °C	712 mm	732 mm	3382	3061
2010	7,7 °C	7,0 °C	712	726	3382	3742
2011	7,7 °C	9,0 °C	712	779	3382	2970
2012	7,7 °C	8,3 °C	712	818	3382	3234

Bilag 4: Eksempel på vurdering af effekt behov ved vinterinddækning af stillads (Teknologisk institut/ Vinterbyggeri)

Udgangspunkt:

100 m lang og 10 m høj facade i alt 1.000 m². Facadeafdækning i afstanden 1.5 m fra facade (uden betydning for problemstillingen i første omgang) og afdækkende presenninger i bredden 2.5 m med i gennemsnit 1 cm utæt fuge mellem presenningerne.

Ønsket temperatur 10 °C mellem afdækning og facade, så der er mulighed for at arbejde med en filmsning, der ikke tåler frost under arbejdet og skal påføres ved min 5 °C.

Beregningseksempler benytter følgende forudsætninger:

U-værdier for inddækningen:

50 mm vintermåtte ca.	$U = 0,8 \text{ W/}^\circ\text{C /m}^2$
Svær bobleagtig plast (skønnet)	$U = 2 \text{ W/}^\circ\text{C /m}^2$
Alm. presenning (skønnet)	$U = 6 \text{ W/}^\circ\text{C /m}^2$

U-værdier for bygning:

10 % glasareal med (skønnet)	$U = 3.0 \text{ W/}^\circ\text{C /m}^2$
90 % murareal med (skønnet)	$U = 0,4 \text{ W/}^\circ\text{C /m}^2$
Gennemsnit (beregnet ud fra skøn)	$U = 0,7 \text{ W/}^\circ\text{C /m}^2$.

Beregning af transmissionstab sker ud fra $Q = A \cdot U \cdot \Delta t$ (temperaturdifferens mellem inddækket facaderum og udetemperatur)

Temperaturer:

Udetemperatur svarende til middel for de 3 koldeste måneder	$t = 0^\circ\text{C}$
Dimensionerende udetemperatur	$t = -10^\circ\text{C}$
Rumtemperatur i bygning	$t = 20^\circ\text{C}$

Luftskiftet er pr. definition vanskeligt at beregne, da der ikke findes nogen litteratur om foretagne målinger, der kan verificere de enkle teorier.

Et godt udgangspunkt er imidlertid at forestille sig, at inddækningen går hele vejen rundt om bygningen, og at den kolde udeluft, der blæser igennem samlingerne i luv side af bygningen, løber rundt om bygningen i det inddækkede volumen og suser ud af samlingerne i læ side af bygningen.

Med en koefficient på +1 på læ side og -0,7 på luv side er det rimeligt at antage, at lufthastigheden i samlinger, revner og sprækker i inddækningen er af samme størrelsesordenen som den uforstyrrede vindhastighed ved kip.

Rapport om Energisparepotentialer i byggeprocessen

Dansk middelhastighed er ca. 4.6 m/s i 10 meters højde.

For enkelheds skyld er beregningerne foretaget ved 1, 5, 10 og 20 m/s.

Med den aktuelle beliggenhed regnes vindhastigheden som for kystnære områder.

Der er ikke taget hensyn til tilskudsvarmen indefra, da dette tilskud vurderes til at udgøre ca. 5 %.

Beregning af luftskiftet foretages ved en gennemsnitlig fuge på 0,01 m samling mellem 2.5 m baner af inddækning og beregnet ud fra facadens længde, dvs. 400 m fuge. Dette er et pessimistisk, men realistisk skøn.

$$Q = \text{luftmængde} * 0,36/W/^{\circ}C/m^3 \text{ luft} * \Delta t$$

Luftmængden er sat til vindhastighed * fugelængde * fugespræk

I nedenstående tabel er varmetabet opført i kW pr. 1000 m² facadeinddækning i afhængighed af: U-værdi, lufthastighed, udetemperatur, fordelt på transmissionstab og luftskiftet inde på stilladset.

U-værdi af inddækning		0,8 W/°C/m ²		2 W/°C/m ²		6 W/°C/m ²	
		Udetemperatur		Udetemperatur		Udetemperatur	
Vind m/s		0 °C	-10 °C	0 °C	-10 °C	0 °C	-10 °C
1	Trans	8		20		60	
1	Luftsk.	34		34		34	
1	Total	42	84	54	108	94	188
5	Trans	8		20		60	
5	Luftsk.	170		170		170	
5	Total	178	358	190	380	230	460
10	Trans	8		20		60	
10	Luftsk.	340		340		340	
10	Total	348	694	360	720	400	800
20	Trans	8		20		60	
20	Luftsk.	680		680		680	
20	Total	688	1376	700	1400	740	1480

Table 4.8.1 Effektbehov i kW til opvarmning af inddækket stillads,