



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

ENERGIKRAV I BYGNINGSREGLEMENT FOR FÆRØERNE

BESPARELSERMULIGHEDER OG ØKONOMI

SBI 2013:23



Energikrav i bygningsreglement for Færøerne

Besparelsesmuligheder og økonomi

Søren Aggerholm

Titel	Energikrav i bygningsreglement for Færøerne
Undertitel	Besparelsesmuligheder og økonomi
Serietitel	SBi: 2013:23
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2013
Sprog	Dansk
Sidetæl	44
Litteratur-henvisninger	Side 32
Emneord	Færøerne, bygningsreglement, energikrav, parcelhus, energibehov, efterisolering, klimaskærm, CO ₂
ISBN	978-87-92739-46-9
Fotos	Forfatteren og Jón Nordendal
Omslag	Parcelhus fra 70'erne. Foto: Jón Nordendal
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

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

Forord

Færøerne har ikke hidtil haft et bygningsreglement med krav til bygningers energieffektivitet. Analyserne i denne rapport er udført for Landsverk på Færøerne og indgår i arbejdet med at udarbejde et energikapitel i et nyt færøsk bygningsreglement. Rapporten og det kommende energikapitel er en del af den færøske regerings strategi for reduktion af den samlede CO₂-udledning på Færøerne.

For at sikre analysernes forankring i Færøske forhold er input om færøske byggeløsninger, traditioner, byggeforhold og byggeomkostninger leveret af LBF Rådgivende Ingeniører, Tórshavn og J&K Petersen Contractors, Hoyvik. Analyserne har desuden været grundigt diskuteret med den arbejdsgruppe, som Landsverk har nedsat om udarbejdelse af bygningsreglement for Færøerne.

Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet København takker alle for godt samarbejde.

Det videre forløb og implementeringen af energikrav i bygningsreglementet vil afhænge af de politiske beslutninger på Færøerne.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og Miljø
August 2013

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indhold

Formål.....	5
Forudsætninger og antagelser	6
Nybyggeri.....	8
Eksempel - Parcelhus	8
Eksempel - Erhverv (tandklinik)	13
Optimal isolering	19
Parameterstudie - klimaskærmen	19
Energirenovering	22
Eksempel – Parcelhus fra 70'erne	23
Eksempel - Parcelhus før 70'erne.....	24
Eksempel - Parcelhus efter 70'erne.....	27
Optimal efterisolering	28
Konklusioner	30
Henvisninger.....	32
Bilag 1. Primærenergifaktor og CO ₂ -faktor for el	33
Bilag 2. Vejr	34
Bilag 3. Infiltration og tæthed.....	37
Bilag 4. Byggeomkostninger.....	38
Bilag 5. Energibehov på Færøerne og i Danmark.....	41
Bilag 6. Eksempel på inddata til energiberegning	42

Formål

Gode bygninger har stor betydning for brugernes fysiske og psykiske velbefindende, og det er derfor afgørende at få udarbejdet et bygningsreglement, der kan sikre, at færøsk byggeri lever op til kvalitetskrav, der kan stilles til nutidigt byggeri i forhold til Færøernes geografiske, topografiske og klimamæssige vilkår.

Indenrigsministeriet på Færøerne har overdraget til Landsverk at udarbejde det færøske bygningsreglement. I erkendelse af at energiforbrug i bygninger har voksende samfundsmæssig betydning er det fra politisk side besluttet, at arbejdet med det færøske bygningsreglement indledes med kapitlet om bygningers energieffektivitet og energibehov.

For at fastsætte relevante krav i energikapitlet har arbejdsgruppen ladet SBI foretage en bygningsanalyse og økonomianalyse af nogle udvalgte færøske bygninger. Opgaven bestod i at relatere de færøske forhold – klimaforhold og byggeskik – til energikravene i det danske bygningsreglement BR08. Da det er valgt at bruge BR08 som skabelon for det færøske bygningsreglement, omfatter analyserne de samme kriterier, som er i BR08's energikapitel. Formålet med analyserne er således at få et beslutningsgrundlag for at kunne stille energikrav til både nybyggeri, eksisterende byggeri, ombygninger og tilbygninger.

Denne rapport indeholder en række analyser af energibesparelsesmulighederne i nyt og eksisterende byggeri på Færøerne. Der er udvalgt to typiske færøske nybyggerier, som er opført de senere år, hvor der er regnet på energibesparelsesmuligheder, miljø og økonomi. Der er også kigget på de enkelte bygningsdele og økonomisk optimering ved at isolere dem bedre i nybyggeriet samt ved tilbygninger. Desuden er der regnet på energibehovet i typiske parcelhuse ved anvendelse af bedre isolerede konstruktioner og vinduer. For eksisterende bygninger og i forbindelse med ombygninger er der på tilsvarende vis lavet analyser af energibesparelsesmulighederne for eksisterende parcelhuse, henholdsvis bygget før og efter 1970, og mere generelt er der efterfølgende kigget på energibesparelsesmulighederne og økonomi ved efterisolering af typiske bygningsdele. Derudover indeholder rapporten forklaringer på hvilke forudsætninger, der har været for analyserne.

Sammen med den færøske regeringens mål om at reducere det samlede CO₂-udledning fra bygninger, vil rapporten danne grundlag for fastsættelsen af de færøske energirammer, U-værdier m.m.

Forudsætninger og antagelser

Ved beregning af energibehov og energibesparelser samt privatøkonomisk rentabilitet er der anvendt forudsætninger og antagelser som angivet i det følgende.

Bygningsdelenes isoleringsevne og varmetab er beregnet i henhold til DS 418. Energibehovet er bestemt med Be10 i henhold til SBi-anvisning 213. Ved beregningerne er der anvendt vejrdata for Færøerne bestemt ved hjælp af Meteonorm, se bilag 2.

Ved bestemmelse af varmetab gennem de enkelte bygningsdele i forbindelse med bestemmelse af individuel optimal isoleringstykkelse og rentabilitet, hvor det ikke indgår i en samlet beregning af energibehovet for bygningen, anvendes der 4500 graddøgn pr. år for Færøerne, se bilag 2. Graddøgnene er bestemt som differencen mellem udetemperaturen og en indetemperatur på 20 °C, som svarer til det, bygningsdelene er udsat for, under hensyn til at der i sommermånederne kan være så meget sol, at rumopvarmningen kan slås fra. Disse graddøgn afspejler alene varmetabet gennem bygningsdelene, og kan ikke bruges til overslag på resulterende varmebehov for en bygning, hvor bidrag fra solindfald og internt varmetilskud skal modregnes.

Alle priser er 2009 priser ekskl. moms. Energipriserne er inkl. evt. afgifter, og svarende til den energipris, som private forbrugere, erhverv og offentlige institutioner mv. betaler for energiforbrug til rumopvarmning. De anvendte energipriser fremgår af tabel 1.

Byggepriserne er bruttopriser fra V&S prishåndbøger justeret til færøske forhold, som beskrevet i bilag 4. For enkelte nye typer løsninger fx en ny type energiruder, har det været nødvendigt at basere priserne på oplysninger fra leverandørerne.

Ved opgørelse af investering og omkostninger er det alene meromkostningerne ved tiltagene til den energimæssige forbedring, som er afgørende, og der er derfor anvendt marginalbetragtninger. Det betyder, at det ikke er den samlede pris for fx en ydervæg, som indgår i opgørelsen, men kun den ekstra omkostning, som er forbundet med at isolere ydervægge bedre.

I tabel 1 er der også vist CO₂-udledning for brændslerne. For el er miljøfaktoren bestemt for færøske forhold, se bilag 1. For færøske forhold er det mest relevant at anvende den marginale CO₂-udledningsfaktor (miljøfaktor) for el, når der skal ses på konsekvenserne for CO₂-udledning ved at reducere energibehovet i nyt og eksisterende byggeri, herunder konsekvensen af at reducere behovet til fx pumper, ventilatorer og belysning samt af at konvertere varmemeforbrug til elforbrug ved at introducere varmepumper til bygningsopvarmning.

Tabel 1. Energipriser og CO₂-udledning for brændsler og energiforbrug

Brændsel	Energipris kr/kWh	Miljøfaktor kg-CO ₂ /kWh
Fyringsolie	0,45	0,265
El	1,20	0,700

I bilag 1 er også bestemt primærenergifaktoren for elforbrug. For færøske forhold er den gennemsnitlige primærenergifaktor 2,50, mens den marginale primærenergifaktor er 2,63. Ved beregningerne i denne rapport er der derfor anvendt en primærenergifaktor for el på 2,50, som er det samme som anvendes under danske forhold.

Nybyggeri

I analyserne af mulige energikrav til nybyggeriet i et kommende Færøsk bygningsreglement er der brugt to eksempelbygninger. Den ene bygning er et nyopført parcelhus beliggende i Sørvágur og den anden bygning er en nyopført tandklinik beliggende i Tórshavn. Bygningerne anses for at være karakteristisk for nyere Færøsk byggestil og løsninger. Bygningerne indgår desuden i det måleprogram på varmepumper, som Jarðfeingi gennemfører.

Analyserne i de to eksempelbygninger er suppleret med en mere generel analyse af de enkelte bygningsdele og økonomisk optimering ved at isolere dem bedre i nybyggeriet samt ved tilbygninger. Desuden er der regnet på energibehovet i typiske parcelhuse ved anvendelse af bedre isolerede konstruktioner og vinduer.

Eksempel – Parcelhus

Parcelhuset ved Sørvágur er beliggende ved fjorden. Huset er vendt således at hovedfacaden er mod nord med udsigt over fjorden, mens indgangsparti og garage er mod syd. Huset har 201 m²-etageareal samt 47 m² garage og loftrum over garage, som også er isoleret. Det er uklart i hvilken udstrækning loftetagen over hovedhuset og mellemgangen mod garagen er opvarmet. Det samme gælder garagen og loftrummet over garagen. I energiberegningen er det antaget, at hele huset inklusive loftetagen over hovedhuset og mellemgangen mod garagen er opvarmet til 20 °C, mens garage og loftrum over garage er uopvarmet.

I huset er der 150 mm isolering i ydervægge og gavle samt terrændæk, mens der er 200 mm isolering på loft, skråvægge, skunkvægge og skunkgulv. Dette svarer til U-værdier på

- | | |
|--------------------------------------------|-----------------------------|
| – ydervægge og gavle | 0,28 W/m ² pr K |
| – terrændæk | 0,22 W/m ² pr K |
| – loft, skråvægge, skunkvægge og skunkgulv | 0,21 W/m ² pr K. |

Ydervægsfundamentene er rene betonfundamenter med et linjetab på 0,7 W/m pr. K. Vinduerne er almindelige trævinduer med gennemgående sprosser. Ruderne er energiruder. U-værdien for vinduerne og døre er 1,7–1,9 W/m² pr K afhængigt af størrelse og type.

Huset er med naturlig ventilation i kombination med en almindelig emhætte i køkkenet. Der er ingen aftrækskanaler fra baderummene eller udeluftventiler. Tætheden af husets klimaskærm er efterfølgende blevet målt til 1,27 l/s pr. m²-etageareal, hvilket er lidt tættere end det nuværende tæthedskrav i det danske bygningsreglement. I energiberegningerne er det antaget, at der netop er tilstrækkelig ventilation i forhold til normal aktivitet i huset. Huset antages som udgangspunkt opvarmet med et oliefyr og -kedel, som er typisk for ny parcelhuse på Færøerne, selv om det aktuelle hus undtagelsesvis er opvarmet med en varmepumpe.

Ifølge Jarðfeingi målinger har parcelhuset et varmekonsum på små 20 MWh/år. Målingerne indikerer, at der er varme på huset året rundt, hvilket er normalt for færøske forhold, selv i nyt byggeri.

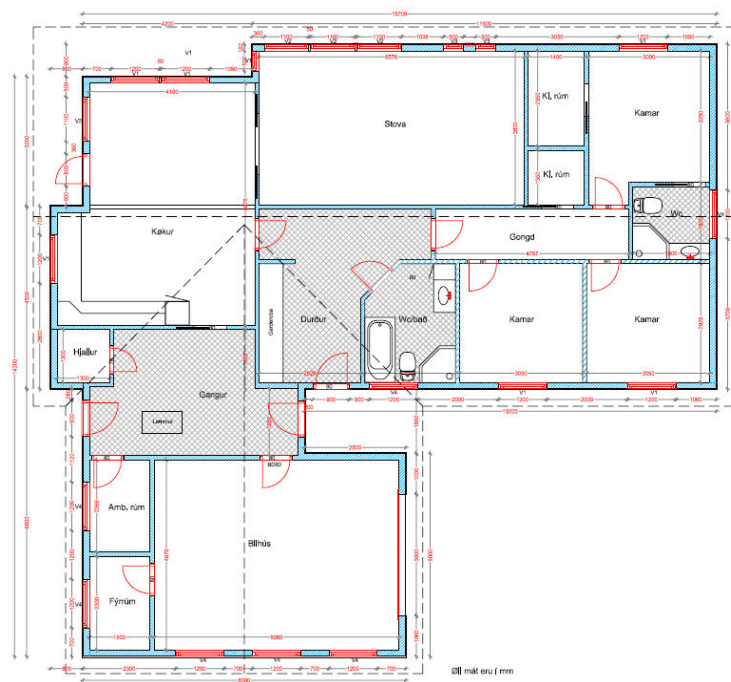
Beregningerne viser et energibehov for huset på 143 kWh/m² pr. år, som svarer til et varmebehov på 26 MWh/år, når huset antages opvarmet som ovenfor beskrevet. Hvis loftrummet over hovedhuset antages ikke at være opvarmet, reduceres det beregnede varmebehov til 23 MWh/år. Af det samlede beregnede varmebehov på 26 MWh/år udgør ventilationen 25 % svarende til 6,5 MWh/år og forbruget af varmt brugsvand udgør 15 % svarende til 4,0 MWh/år. 1 °C sænkning af rumtemperaturen sparer 8 % svarende til 2,0 MWh/år. Der kan således være mange årsager til afvigelser mellem beregnet energibehov med standardforudsætninger og målt energibehov i et specifikt hus. Erfaringsmæssigt kan der være en faktor 1 til 3 på energiforbruget i ens huse afhængigt af beboernes adfærd. I det konkrete hus kunne det tyde på, at familien i huset har en mere energibevidst adfærd end antaget i beregningerne, alternativt at der er uoverensstemmelse mellem tegningerne og den faktiske udførelse af huset



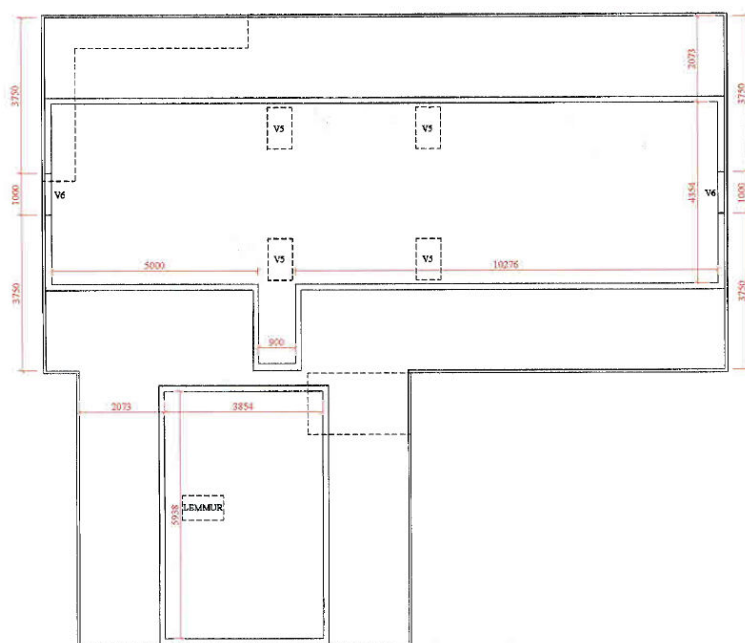
Figur 1. Parcelhuset i Sörvágur set fra sydøst.



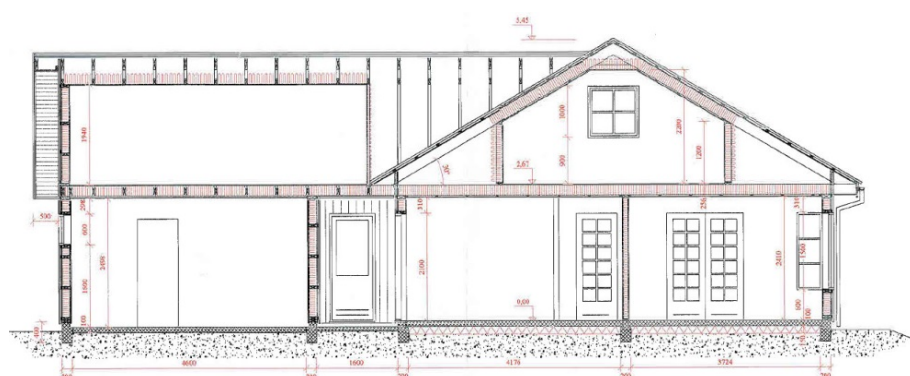
Figur 2. Parcelhuset i Sörvágur set fra nordvest.



Figur 3. Parcelhuset i Sørvágur, stueplan. Nord er opad på tegningen.



Figur 4. Parcelhuset i Sørvágur, loftetage.



Figur 5. Parcelhuset i Sørvágur, lodret snit syd-nord set mod vest.

I tabel 2 er for parcelhuset vist de energitiltag, som indgår i beregningen af energibehovsreduktion samt investeringen pr. enhed fx m²-loftsareal. Rækkefølgen af energitiltagene er som angivet ved nummereringen af tiltagene. Energitiltagene tilføjes en for en. Der er ikke tale om en egentlig optimering af rækkefølgen, da der ikke kan fastlægges et entydigt, universelt kriterium for optimering af rækkefølgen. Se i øvrigt de efterfølgende tabeller, hvor der er opgjørt fx investering pr. m²-etageareal, investering pr. sparet kWh, tilbagebetalingstid, reduktion i CO₂-udledning mv. Optimering efter hver af disse kriterier vil kræve forskellig rækkefølge.

Isoleringstykkelser og energieffektivitet for de fremtidige løsninger er en del højere, end det der sædvanligvis anvendes på Færøerne. Specielt i relation til ydervægs- og skillevægsgfundamenter er der tradition for at anvende rene betonløsninger, som giver anledning til en betydelig kuldebro. Kuldebroen kan reduceres markant ved at anvende letklinkerblokke evt. i kombination med midterisolering. Løsningen forudsætter typisk, at væggen og taget forankres dybere i konstruktionen, så der fortsat er solid forbindelse til betonen. Løsninger af den pågældende type er gennem mange år meget udbredt i Danmark og i andre nordeuropæiske lande.

Tabel 2. Energitiltag og investering for parcelhuset.

Energitiltag	Enhed	Investering kr. pr. enhed
01 Ydervæg +100 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	280
02 Terrændæk +100 mm (U = 0,14)	kr. pr. m ²	280
03 Loft +100 (U = 0,13)	kr. pr. m ²	150
04 Skunkvæg +100 mm (U = 0,13)	kr. pr. m ²	160
05 Skråvæg + 50 mm (U = 0,19)	kr. pr. m ²	120
06 Ydervægsgfundamenter (0,22 W/K pr. m)	kr. pr. m	300
07 Skillevægsgfundament (2 letklinkerblokke)	kr. pr. m	300
08 Energisprosser	kr. pr. m ²	200
09 Kondenserende oliefyr	kr. i alt	10.000
10 Vellisoleret VVB	kr. i alt	2.000
11 BMV med vgv og tæt klimaskærm	kr. i alt	30.000
12 Sprosseløse vinduer	kr. pr. m ²	-300
13 Komposit-vinduer	kr. pr. m ²	500
14 3-lags energiruder (ny type)	kr. pr. m ²	900
15 Energieffektiv cirkulationspumpe	kr. i alt	1.000
16 Varmepumpe	kr. i alt	20.000

I tabel 3 er for parcelhuset vist investeringen i kr./m²-etageareal, energibesparelsen i kWh/m² pr. år, energibehovet i procent af det oprindelige energibehov og investeringen i forhold til den årlige besparelse i kr. pr. kWh/år under forudsætning af traditionelle byggeløsninger.

I tabel 4 er for parcelhuset vist den forudsatte levetid i år for de enkelte tiltag, simpel tilbagebetalingstid i år for de enkelte tiltag og samlet vægtet tilbagebetalingstid i år for tiltagene, investering i forhold til samlet besparelse over levetiden for de enkelte tiltag i kr./kWh samt investering i forhold til reduktionen i energibehovet. Tilbagebetalingstiden for tiltag med kortere tilbagebetalingstid end levetid er fremhævet med fed skrift.

Tabel 3. Investering, besparelse og relativt energibehov for energitiltagene i parcelhuset.

Energitiltag	Investering		Besparelse	Energibehov
	kr./m ² -etageareal		kWh/m ² pr. år	% af oprindelig
	Tiltag	Sum	Tiltag	Sum
01 Ydervæg +100 mm	146	146	6,8	95,3
02 Terrændæk +100 mm	160	306	5,7	91,3
03 Loft +100	37	343	2,5	89,5
04 Skunkvæg +100 mm	32	375	2,1	88,1
05 Skråvæg + 50 mm	51	426	1,0	87,4
06 Ydervægsfundamenter	75	500	19,8	73,6
07 Skillevægsfundament	24	524	1,9	72,3
08 Energisprosser	30	554	5,1	68,7
09 Kondenserende oliefyr	50	604	7,7	63,3
10 Velisoleret VVB	10	614	0,5	62,9
11 BMV, vgv og tæt klimaskærm	149	763	3,5	60,5
12 Sprosseløse vinduer	-45	718	1,7	59,3
13 Komposit-vinduer	75	792	5,3	55,6
14 3-lags energiruder (ny type)	134	926	4,8	52,2
15 Energieff. cirkulationspumpe	5	931	3,3	50,0
16 Varmepumpe	99	1031	17,4	37,9

Tabel 4. Levetid og tilbagebetalingstid samt investering i forhold til energibesparelse for energitiltagene i parcelhuset.

Energitiltag	Levetid år	Tilbagebetalingstid		Invest. ift. bespar.	Invest. ift. energibehov
		år		kr./kWh	kr. pr. kWh/år
		Tiltag	Sum	Tiltag	Tiltag
01 Ydervæg +100 mm	60	47	47	0,36	21,32
02 Terrændæk +100 mm	60	62	54	0,47	28,06
03 Loft +100	40	33	51	0,37	14,90
04 Skunkvæg +100 mm	40	34	49	0,38	15,14
05 Skråvæg + 50 mm	60	113	52	0,84	50,67
06 Ydervægsfundamenter	60	8	29	0,06	3,77
07 Skillevægsfundament	60	28	29	0,21	12,55
08 Energisprosser	20	13	27	0,29	5,79
09 Kondenserende oliefyr	20	15	25	0,32	6,45
10 Velisoleret VVB	20	44	26	0,99	19,87
11 BMV, vgv og tæt klimaskærm	20	110	30	2,13	42,58
12 Sprosseløse vinduer	40	-58	28	-0,66	-26,30
13 Komposit-vinduer	40	31	28	0,35	13,93
14 3-lags energiruder (ny type)	20	62	30	1,40	27,94
15 Energieff. cirkulationspumpe	20	3	29	0,08	1,53
16 Varmepumpe	20	15	27	0,29	5,73

I tabel 5 er for parcelhuset vist den samlede CO₂-udledning i kg-CO₂/år, besparelsen i CO₂-udledning i kg-CO₂/år for de enkelte energitiltag og den summerede besparelsen i CO₂-udledning i kg-CO₂/år for tiltagene. Desuden er vist behovet for henholdsvis fyringsolie og el til bygningsdrift pr. m²-etageareal pr. år.

Tabel 5. Miljøregnskab for energitiltagene i parcelhuset.

Energitiltag	CO ₂ udledning	Besparelse		Forbrug	
	kg-CO ₂ /år	kg-CO ₂ /år	kg-CO ₂ /år	pr. m ² -etageareal pr. år	
	Sum	Tiltag	Sum	liter-olie	kWh-el
00	7670	-	-	13,6	3,1
01 Ydervæg +100 mm	7304	366	366	12,9	3,0
02 Terrændæk +100 mm	7000	304	670	12,3	3,0
03 Loft +100	6867	133	804	12,1	3,0
04 Skunkvæg +100 mm	6755	112	916	11,9	3,0
05 Skråvæg + 50 mm	6701	53	969	11,8	3,0
06 Ydervægsfundamenter	5647	1054	2023	9,8	2,9
07 Skillevægsfundament	5546	101	2125	9,6	2,9
08 Energisprosser	5270	275	2400	9,1	2,8
09 Kondenserende oliefyr	4864	406	2806	8,2	3,4
10 Velisoleret VVB	4837	27	2833	8,2	3,4
11 BMV, vgv og tæt klimaskærm	4673	164	2997	7,1	6,4
12 Sprosseløse vinduer	4583	91	3088	6,9	6,4
13 Komposit-vinduer	4296	286	3374	6,4	6,3
14 3-lags energiruder (ny type)	4040	256	3630	5,9	6,3
15 Energieff. cirkulationspumpe	3857	183	3813	5,9	5,0
16 Varmepumpe	3058	799	4613	0	21,7

Eksempel – Erhverv (tandklinik)

Tandklinikken ligger i et mindre industriområde i en forstad til Tórshavn, nord for centrum. Bygningen er på 672 m²-etageareal fordelt ligeligt på stueplan og opvarmet kælder.

I bygningen er der betonvægge i gavle og kælder med indvendig isolering på 75 mm. Konstruktionen er formodentlig med en uventileret luftspalte mellem beton og isolering. Konstruktionen er tilsyneladende ret udbredt på Færøerne i både nyt erhvervs- og etageboligbyggeri og i relation til efterisolering af tunge, massive ydervægge. Konstruktionen kan være risikabel i relation til vækst af skimmelsvamp, specielt hvis den indvendige isoleringstykkelser forøges. U-værdien er 0,50 W/m² pr K for gavlene og kældervægge mod det fri og 0,40 W/m² pr K for kældervægge mod jord.

De øvrige bygningsdele er isoleret på mere normal vis, med 150 mm isolering i de lette ydervægge, 250 mm på loftet og 75 mm under kældergulvet.

Det svarer til U-værdier på

- lette ydervægge 0,31 W/m² pr K
- loftet 0,17 W/m² pr K
- kældergulvet 0,27 W/m² pr K.

Vinduerne er almindelige trævinduer med energiruder. U-værdien for vinduerne og døre er 1,5–1,7 W/m² pr K afhængigt af størrelse og type.

Det antages, at der af hensyn til tandklinikkerne er mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding i stueplan med en konstant ventilationsrate i brugstiden på 1,2 l/s pr. m²-etageareal, mens der er naturlig ventilation i kælderen. Tætheden af bygningens klimaskærm er efterfølgende blevet målt til 1,81 l/s pr. m²-etageareal, hvilket er lidt mindre tæt end det nuværende tæthedskrav i det danske bygningsreglement, som er på 1,5 l/s pr. m²-etageareal ved trykprøvning med 50 Pa trykdifference. I energiberegninger er det antaget, at infiltrationen ved tæthedsprøvning med 50 Pa er 3,0 l/s pr.

m²-etageareal eller dobbelt så utæt som en bygning, der netop opfylder de danske krav til klimaskærmens tæthed i BR08. Bygningen antages som udgangspunkt opvarmet med oliefyr og -kedel, som er typisk for ny bygninger på Færøerne, selv om den aktuelle bygning undtagelsesvis er opvarmet med en varmepumpe. Ventilatorer, varmegenvinder, pumper samt belysning og styring er antaget at være lidt mindre energieffektive end efter de nuværende danske forhold, svarende til hvad der typisk vælges, hvis der ikke er et bygningsreglement med energikrav.

Ifølge Jarðfeingi målinger har tandklinikken et varmekonsum på ca. 70 MWh/år. Målingerne indikerer, at der også her er varme på bygningen året rundt. Det beregnede energibehov er 172 kWh/m² pr. år og varmebehov er 65 MWh/år. Beregnet og målt varmebehov stemmer således godt overens, men nede bagved gemmer sig alligevel de samme typer usikkerheder, som er beskrevet for parcelhuset i forrige afsnit.



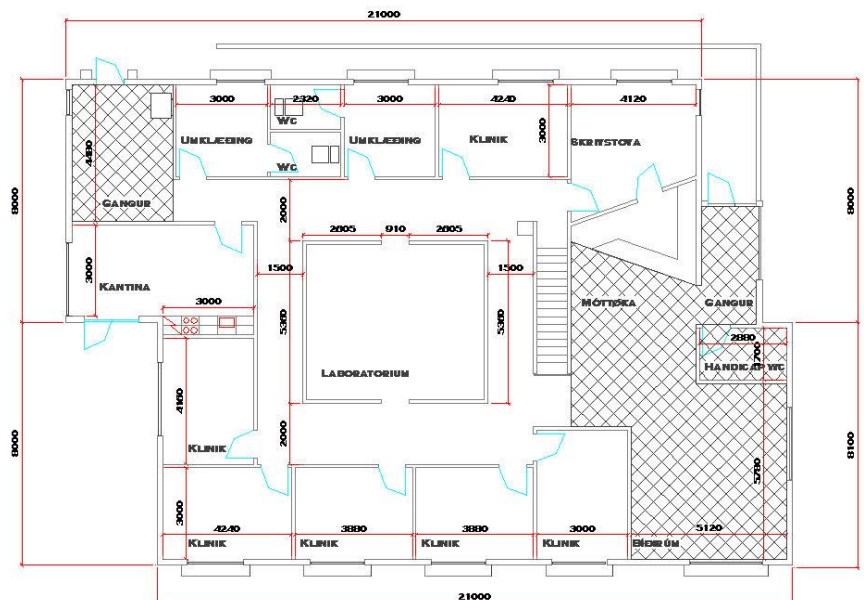
Figur 6. Tandklinikken set fra indgangssiden, som vender mod øst med udsigt over fjorden.



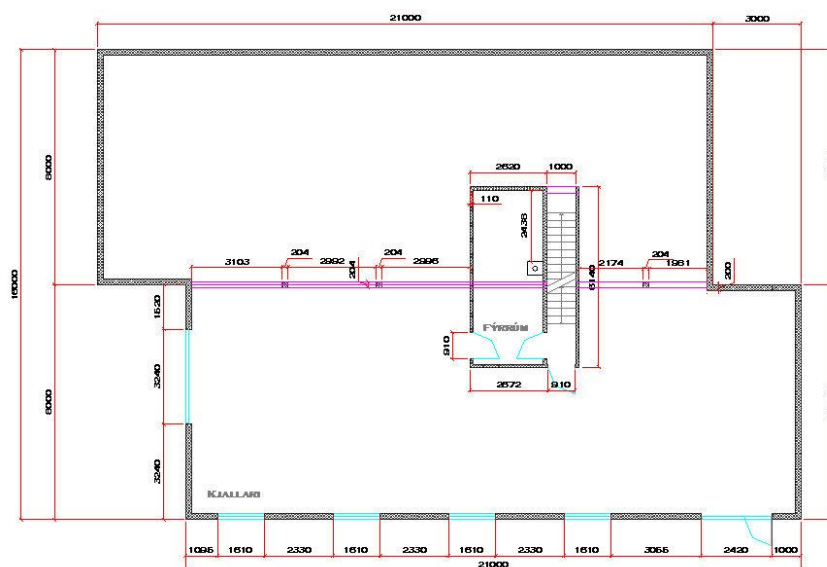
Figur 7. Tandklinikken set fra vest.



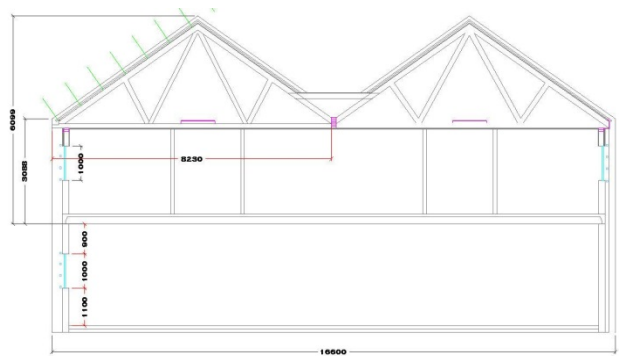
Figur 8. Tandklinikken set fra nord.



Figur 9. Stueplan for tandklinikken. Øst er op på tegningen.



Figur 10. Kælderplan for tandklinikken.



Figur 11. Snit i tandklinikken set mod nord.

I tabel 6 er for tandklinikken vist de energitiltag, som indgår i beregningen af energibehovsreduktion samt investeringen pr enhed.

I tabel 7 er for tandklinikken vist investeringen i kr./m²-etageareal, energibesparelsen i kWh/m² pr. år, energibehovet i procent af det oprindelige energibehov og investeringen i forhold til den årlige besparelse i kr. pr. kWh/år under forudsætning af traditionelle byggeløsninger.

I Tabel 8 er for tandklinikken vist den forudsatte levetid i år for de enkelte tiltag, simpel tilbagebetalingstid i år for de enkelte tiltag og samlet vægtet tilbagebetalingstid i år for tiltagene, investering i forhold til samlet besparelse over levetiden for de enkelte tiltag i kr./kWh samt investering i forhold til reduktionen i energibehovet.

I tabel 9 er for tandklinikken vist den samlede CO₂-udledning i kg-CO₂/år, besparelsen i CO₂-udledning i kg-CO₂/år for de enkelte energitiltag og den summerede besparelsen i CO₂-udledning i kg-CO₂/år for tiltagene. Desuden er vist behovet for henholdsvis fyringsolie og el til bygningsdrift pr. m²-etageareal pr. år.

Tabel 6. Energitiltag og investering for tandklinikken.

Energitiltag	Enhed	Investering
		kr. pr. enhed
01 Lys effekt	kr. pr. m ²	50
02 Lys PIR	kr. pr. m ²	50
03 Lys dagslys on-off	kr. pr. m ²	50
04 Endevæg +125 mm	kr. pr. m ²	750
05 Kældervæg +125 mm	kr. pr. m ²	0
06 Kældergulv +125 mm	kr. pr. m	220
07 Ydervæg + 100 mm	kr. pr. m	280
08 Loft + 50 mm	kr. pr. m ²	80
09 Oliefyr	kr. i alt	10.000
10 VVB	kr. i alt	3.000
11 VBV rørisolering	kr. pr. m	40
12 Tætning	kr. pr. m ²	100
13 VGV + SEL	kr. pr. m ²	100
14 Kompositvinduer	kr. pr. m ²	500
15 3-lags energiruder (ny type)	kr. pr. m ²	900
16 Behovsstyret BMV	kr. pr. m ²	100
17 Cirkulationspumpe varme	kr. i alt	3.000
18 Lys dagslysdimming	kr. pr. m ²	50

Tabel 7. Investering, besparelse og relativt energibehov for energitiltagene i tandklinikken.

Energitiltag	Investering		Besparelse	Energibehov
	kr./m ² -etageareal		kWh/m ² pr. år	% af oprindelig
	Tiltag	Sum	Tiltag	Sum
01 Lys effekt	50	50	9,9	94,2
02 Lys PIR	50	100	7,2	90,0
03 Lys dagslys on-off	17	117	1,8	89,0
04 Endevæg +125 mm	251	368	11,6	82,2
05 Kældervæg +125 mm	0	368	2,7	80,6
06 Kældergulv +125 mm	105	473	5,7	77,3
07 Ydervæg + 100 mm	54	526	2,8	75,7
08 Loft + 50 mm	40	566	2,5	74,2
09 Oliefyr	30	596	8,6	69,2
10 VVB	4	601	0,5	68,9
11 VBV rørisolering	2	603	0,9	68,4
12 Tætning	81	684	14,6	59,9
13 VGV + SEL	50	734	7,2	55,7
14 Kompositvinduer	57	790	4,4	53,2
15 3-lags energiruder (ny type)	102	892	3,5	51,2
16 Behovsstyret BMV	50	942	3,1	49,4
17 Cirkulationspumpe varme	4	946	5,5	46,2
18 Lys dagslysdimming	17	963	1,3	45,4

Tabel 8. Levetid og tilbagebetalingstid samt investering i forhold til energibesparelse for energitiltagene i tandklinikken.

Energitiltag	Levetid år	Tilbagebetalingstid		Invest. ift. bespar.	Invest. ift. energibehov
		år	kr./kWh	kr. pr. kWh/år	kr. pr. kWh/år
		Tiltag	Sum	Tiltag	Tiltag
01 Lys effekt	20	10	10	0,25	5,05
02 Lys PIR	20	14	12	0,35	6,94
03 Lys dagslys on-off	20	20	13	0,48	9,57
04 Endevæg +125 mm	60	48	25	0,36	21,65
05 Kældervæg +125 mm	60	0	23	0,00	0,00
06 Kældergulv +125 mm	60	41	26	0,31	18,54
07 Ydervæg + 100 mm	60	43	27	0,32	19,20
08 Loft + 50 mm	40	36	27	0,40	16,00
09 Oliefyr	20	8	24	0,17	3,46
10 VVB	20	20	24	0,45	8,93
11 VBV rørisolering	40	6	24	0,07	2,65
12 Tætning	60	12	22	0,09	5,54
13 VGV + SEL	20	15	21	0,35	6,94
14 Kompositvinduer	40	29	21	0,32	13,00
15 3-lags energiruder (ny type)	20	65	23	1,45	29,08
16 Behovsstyret BMV	20	35	24	0,82	16,39
17 Cirkulationspumpe varme	20	2	22	0,04	0,81
18 Lys dagslysdimming	20	25	22	0,62	12,40

Tabel 9. Miljøregnskab for energitiltagene i tandklinikken.

Energitiltag	CO ₂ udledning	Besparelse		Forbrug	
	kg-CO ₂ /år		kg-CO ₂ /år	pr. m ² -etageareal pr. år	
	Sum	Tiltag	Sum	liter-olie	kWh-el
00	31.272	-	-	9,9	29,0
01 Lys effekt	29.367	1.904	1.904	10,3	23,4
02 Lys PIR	27.979	1.388	3.292	10,6	19,2
03 Lys dagslys on-off	27.645	334	3.626	10,7	18,3
04 Endevæg +125 mm	25.579	2.066	5.692	9,5	18,3
05 Kældervæg +125 mm	25.099	481	6.173	9,3	18,3
06 Kældergulv +125 mm	24.090	1.009	7.182	8,7	18,2
07 Ydervæg + 100 mm	23.591	499	7.680	8,4	18,2
08 Loft + 50 mm	23.146	445	8.125	8,2	18,2
09 Oliefyr	21.630	1.516	9.642	7,2	18,8
10 VVB	21.541	89	9.731	7,1	18,8
11 VBV rørisolering	21.380	160	9.891	7,0	18,8
12 Tætning	18.782	2.599	12.490	5,7	18,5
13 VGV + SEL	17.464	1.317	13.807	5,3	17,1
14 Kompositvinduer	16.687	777	14.584	4,9	17,0
15 3-lags energiruder (ny type)	16.064	623	15.208	4,5	17,0
16 Behovsstyret BMV	15.503	561	15.768	4,4	16,3
17 Cirkulationspumpe varme	14.468	1.035	16.803	4,4	14,1
18 Lys dagslysdimming	14.210	258	17.061	4,4	13,4

Optimal isolering

I tabel 10 er vist de privatøkonomisk optimale U-værdier i nybyggeri samt de tilsvarende typiske isoleringstykkelser og de forudsatte levetider. Den optimale isoleringstykkelser er fastlagt som den isoleringstykkelser, der ved en marginalbetragtning for de sidste millimeter isolering, netop kan tilbagebetales indenfor den forudsatte levetid ved de nuværende energipriser. Bestemmelsen af optimummet tager således ikke højde for energiprisstigninger højere end den almindelige inflation og rente.

Hvis der fx på et loft i et åbent loftrum kun isoleres med 200 mm i stedet for de optimale ca. 300 mm, bliver meromkostningen over levetiden på 40 år 33 kr./m². De manglende 100 mm koster varme for ekstra 3,00 kr./m² pr. år ekskl. moms. Hvis der alternativt isoleres med 100 mm mere, end det umiddelbart er privatøkonomisk optimalt dvs. 400 mm, bliver meromkostningen over levetiden 26 kr./m². Investeringen i 100 mm isolering er 90 kr./m². Optimummet er således særdeles fladt og ikke synderligt følsomt for selv ret stor variation i isoleringstykkelser. De 100 mm sparer varme for 1,50 kr./m² pr. år ekskl. moms. og er således betalt tilbage, hvis isoleringens levetid overstiger 57 år. I ovenstående er det antaget, at varmeprisen netop følger den almindelige inflation og rente. Hvis energipriserne stiger mere end den almindelige inflation og rente, vil det være privatøkonomisk optimalt at isolere mere. Prisen for at lægge de 100 mm senere er 50-100 % højere dvs. 130-180 kr./m² pr. år ekskl. moms i 2009 priser.

Tabel 10. Økonomisk optimale U-værdier i nybyggeriet og tilsvarende typiske isoleringstykkelser samt forudsatte levetider for bygningsdelene.

Konstruktion	Isolering		Levetid
	W/m ² pr. K	mm	År
Loft i åbent loftrum	0,13	260	40
Skunkvæg i tilgængeligt skunkrum	0,13	260	40
Skråvæg og paralleltæg	0,17	240	60
Do. indenfor spærhøjden	0,12	350	60
Let ydervæg	0,17	240	60
Betonsvæg med isolering udvendig i let konstruktion	0,18	240	60
Betonsvæg med isoleringssystem og puds udvendig	0,36	95	40
Betonsandwichelement	0,26	150	60
Terrændæk	0,14	280	60
Terrændæk med gulvvarme	0,11	330	60

Parameterstudie - klimaskærmen

I det følgende er det vurderet om det for typisk nyt parcelhusbyggeri vil være muligt på Færøerne at opfylde samme energiramme som i det danske BR 08. I henhold til sammenligningen i bilag 5 vil det samme parcelhus have 10-12 % større energibehov, hvis det opføres på Færøerne frem for i Danmark.

I tabel 11 er vist U-værdier og tilsvarende typiske isoleringstykkelser for henholdsvis det velisolerede og det topisolerede tilfælde anvendt ved bestemmelse af energibehovet i parcelhusene. I begge tilfælde er det yderligere forudsat, at der er to skifter letklinkerblokke i ydervægsfundamentterne, et effektivt oliefyrt og en effektiv cirkulationspumpe samt en velisoleret varmtvandsbeholder. Med hensyn til ventilationen er det blot forudsat, at der er naturlig ventilation og en tilstrækkelig lufttæt klimaskærm. Med hensyn til vinduerne er de som minimum forudsat at være med 2-lags energiruder og

en U-værdi på 1,5 – 1,6 W/m² pr. K afhængigt af størrelse og udformning. I kombination med topisolering af konstruktionerne forudsættes der i nogle tilfælde anvendt nye 3-lags energiruder, som giver vinduerne en U-værdi på 1,3 – 1,4 W/m² pr. K.

Tabel 11. U-værdier og tilsvarende typiske isoleringstykkelser anvendt ved bestemmelse af energibehovet i parcelhusene.

	U-værdier i W/m ² pr. K		Isoleringstykkelser i mm	
	Velisoleret	Topisoleret	Velisoleret	Topisoleret
Loft	0,13	0,11	270	320
Skråvægge	-	0,15	-	260
Skunkvægge og -gulv	-	0,11	-	320
Ydervægge	0,18	0,15	220	270
Gavltrekanter	-	0,15	-	270
Terrændæk med gulvvarme	0,14	0,09	270	450

Tabel 12. Energibehov og margen til energiramme i et velisoleret étplan parcelhus.

Etageareal, m ²	Energibehov, kWh/m ² pr. år		Margen til energiramme, kWh/m ² pr. år	
	Sydvendt	Nordvendt	Sydvendt	Nordvendt
120	105,5	112,0	-17,2	-23,7
160	100,3	108,4	-16,6	-24,7
200	97,2	106,3	-16,2	-25,3

Tabel 13. Energibehov og margen til energiramme i et topisoleret étplan parcelhus.

Etageareal, m ²	Energibehov, kWh/m ² pr. år		Margen til energiramme, kWh/m ² pr. år	
	Sydvendt	Nordvendt	Sydvendt	Nordvendt
120	90,5	96,9	-2,2	-8,6
160	87,1	93,9	-3,3	-10,2
200	83,2	92,0	-2,2	-11,0

Tabel 14. Energibehov og margen til energiramme i et topisoleret étplan parcelhus samt vinduer med nye trelagsenergiruder.

Etageareal, m ²	Energibehov, kWh/m ² pr. år		Margen til energiramme, kWh/m ² pr. år	
	Sydvendt	Nordvendt	Sydvendt	Nordvendt
120	85,8	91,4	2,5	-3,1
160	82,3	88,2	1,5	-4,5
200	78,5	86,2	2,5	-5,2

Tabel 15. Energibehov og margen til energiramme i et topisoleret 1½-plan parcelhus.

Etageareal, m ²	Energibehov, kWh/m ² pr. år		Margen til energiramme, kWh/m ² pr. år	
	Sydvendt	Nordvendt	Sydvendt	Nordvendt
130	81,9	85,4	5,0	1,5

I tabel 12 -15 er vist energibehov og margen til energirammen for de beregnede kombinationer af isolering og vinduer. Sydvendt hhv. nordvendt betyder at hovedparten af vinduerne vender mod hhv. syd eller nord. Normalt vil man foretrække at have hovedparten af vinduerne mod syd, men i særlige situationer fx i bymæssig bebyggelse, eller hvis der er en smuk udsigt, kan man foretrække at have hovedparten af vinduerne vendt mod nord. Energi-

behovet ved øst- eller vestvendte vinduer ligger nogenlunde midt mellem energibehovet ved syd- og nordvendte vinduer.

Negativ margin til energirammen betyder at energibehovet er større end energirammen. Energirammen er 70 kWh/m^2 pr. år plus 2200 kWh/år divideret med det opvarmede etageareal. For de anvendte husstørrelser på 120, 130, 160 og 200 m^2 giver det således en energiramme på henholdsvis 88,3; 86,9; 83,8 og $81,0 \text{ kWh/m}^2$ pr. år, som margenen regnes i forhold til.

Af tabellerne ses det, at det vil kræve topisolering i et nyt étplan parcelhus samt vinduer med nye 3-lags energiruder at opfylde den nævnte energiramme med de angivne forudsætninger herunder, at der er naturlig ventilation i husene. Hvis der etableres en ekstra tæt klimaskærm og et ekstra energieffektivt balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding kan energibehovet reduceres med op til ca. 10 kWh/m^2 pr. år. Det vil så reducere behovet for isolering i klimaskærmen tilsvarende.

Mere kompakte huse fx opført i $1\frac{1}{2}$ -plan vil kunne opfylde kravene med mindre isolering og 2-lags energiruder. Tilsvarende vil gælde for fx dobbelt- og rækkehuse.

Energirenovering

Der er ca. 32.000 bygninger på Færøerne med et samlet bebygget areal på lidt under 3.000.000 m². Det opvarmede etageareal kendes ikke direkte, da der ikke er et bygningsregister på Færøerne, og der knytter der sig derfor nogen usikkerhed til tallene. Det antages, at $\frac{3}{4}$ af etagearealet er boliger, hvor af hovedparten er parcelhuse. Af disse er $\frac{1}{2}$ -delen opført før midt 70'erne. Af de ældre parcelhuse er der en del med kælder, som i visse tilfælde opvarmes og bruges til beboelse. I de nyere parcelhuse er der sjældent kælder. Nybygningsraten svarer til af størrelsesordenen 1 % af det eksisterende etageareal. På kortere sigt er energibesparelser i eksisterende bygninger således afgørende for den samlede energibesparelse i bygningsmassen.

I de følgende eksempler er der fokuseret på energibesparelsemulighederne i eksisterende parcelhuse, som udgør den største andel af bygningsmassen. Besparelsemulighederne i disse parcelhuse kan formodentligt overføres til andre boliger og til andre typer bygninger.

Eksempel – Parcelhus fra 70'erne

I forbindelse med analyserne af energirenoveringsmulighederne i færøske parcelhus besøgte LBF et parcelhus på Suðuroy. Huset er på ca. 160 m²-etageareal, opført omkring 1970 og senere ombygget og udvidet.



Figur 12. Parcelhus på Suðuroy set fra vej.



Figur 13. Tilbygning til parcelhuset på Suðuroy.

I henhold til LBF's registreringer i huset har ydervægge og terrændæk en U-værdi på 0,30 W/m² pr. K, loftet har en U-værdi på 0,26 W/m² pr. K og skråvæggene mod tag har en U-værdi på 0,24 W/m² pr. K. Ydervæggene har et samlet areal på 167 m² og vinduerne har et areal på 30 m². Da der ikke foreligger yderligere oplysninger om huset eller tegninger, har det ikke været muligt at udføre en energiberegning for huset.

Eksempel - Parcelhus før 70'erne

Parcelhuset fra før 70'erne antages at have et samlet opvarmet etageareal på 196 m² ligeligt fordelt på stueplan og opvarmet kælder. Det antages, at ½-delen af kælderen er mod udeluften, mens den anden ½-del er mod jord.

I huset antages der at være 50 mm isolering i alle konstruktioner bortset fra kældergulvet, som antages uisolert. Kældervæggene er isoleret indvendigt. U-værdi for ydervæggen er 0,68 W/ m² pr K og 0,59 W/ m² pr K for loftet, mens den er 0,63 W/ m² pr K for kælderydervæggene mod det fri og 0,48 W/ m² pr K for kælderydervæggene mod jord. For det uisolerede kældergulv er U-værdien 0,58 W/ m² pr K. Ydervægsfundamenterne er rene betonfundamenter med et linjetab på 0,7 W/m pr. K. Vinduerne er almindelige trævinduer med gennemgående sprosser. Ruderne er almindelige termoruder eller anden løsning med 2-lag glas. U-værdien for vinduerne og døre er ca. 2,9 W/ m² pr K. I huset er der et ældre oliefyr og naturlig ventilation.

Det beregnede energibehov for huset er 226 kWh/m² pr. år.

I Tabel 16 er for parcelhuset fra før 70'erne vist de energibesparende tiltag, som indgår i beregningen af energibehovsreduktion samt investeringen pr enhed under forudsætning af at energibesparelserne sker i takt med den almindelige udskiftning og renovering af huset. I Tabel 17 er det tilsvarende vist under forudsætning af, at energibesparelserne ønskes med det samme, således at også endnu anvendelige bygningsdele og installationer med en vis restlevetid udskiftes og renoveres primært for at opnå en energibesparelse.

I tabel 18 og tabel 19 er på tilsvarende vis for hver af forudsætningerne vist investeringen i kr./m²-etageareal, energibesparelsen i kWh/m² pr. år, energibehovet i procent af det oprindelige energibehov og investeringen i forhold til den årlige besparelse i kr. pr. kWh/år.

I tabel 20 er vist den samlede CO₂-udledning i kg-CO₂/år, besparelsen i CO₂-udledning i kg-CO₂/år for de enkelte energitiltag og den summerede besparelsen i CO₂-udledning i kg-CO₂/år for tiltagene. Desuden er vist behovet for henholdsvis fyringsolie og el til bygningsdrift pr. m²-etageareal pr. år.

Tabel 16. Energitiltag og investering for eksisterende parcelhus fra før 70'erne. Energibesparelser i forbindelse med almindeligt vedligehold.

Energitiltag	Enhed	Investering
		kr. pr. enhed
01 Ydervæg +200 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	425
02 Loft +250 (U = 0,13)	kr. pr. m ²	300
03 Vinduer	kr. pr. m ²	0
04 Kælderydervæg + 150 mm (U = 0,21)	kr. pr. m ²	1.200
05 Kældervæg mod jord + 150 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	1.200
06 Oliefyr	kr. i alt	0
07 VVB	kr. i alt	0
08 Cirkulationspumpe	kr. i alt	0

Tabel 17. Energitiltag og investering for eksisterende parcelhus fra før 70'erne. Renovering for at opnå energibesparelser.

Energitiltag	Enhed	Investering
		kr. pr. enhed
01 Ydervæg +200 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	1.055
02 Loft +250 (U = 0,13)	kr. pr. m ²	255
03 Vinduer	kr. pr. m ²	4.000
04 Kælderydervæg + 150 mm (U = 0,21)	kr. pr. m ²	1.010
05 Kældervæg mod jord + 150 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	1.000
06 Oliefyr	kr. i alt	35.000
07 VVB	kr. i alt	10.000
08 Cirkulationspumpe	kr. i alt	2.500

Tabel 18. Investering, besparelse og relativt energibehov for eksisterende parcelhus fra før 70'erne. Energibesparelser i forbindelse med almindeligt vedligehold.

Energitiltag	Investering		Besparelse	Energibehov	Invest. pr. bespar.
	kr./m ² -etageareal		kWh/m ² pr. år	% af oprindelig	kr. pr. kWh
	Tiltag	Sum	Tiltag	Sum	Tiltag
01 Ydervæg +200 mm (U = 0,18)	191	191	29,1	87,2	0,16
02 Loft +250 (U = 0,13)	184	374	29,3	74,2	0,16
03 Vinduer	0	374	27,9	61,9	0,00
04 Kælderydervæg + 150 mm (U = 0,21)	318	693	14,4	55,5	1,11
05 Kældervæg mod jord + 150 mm (U = 0,18)	282	974	8,5	51,7	1,66
06 Oliefyr	0	974	9,0	47,8	0,00
07 VVB	0	974	0,4	47,6	0,00
08 Cirkulationspumpe	0	974	6,5	44,7	0,00

Tabel 19. Investering, besparelse og relativt energibehov for eksisterende parcelhus fra før 70'erne. Renovering for at opnå energibesparelser.

Energitiltag	Investering		Besparelse	Energibehov	Invest. pr. bespar.
	kr./m ² -etageareal		kWh/m ² pr. år	% af oprindelig	kr. pr. kWh
	Tiltag	Sum	Tiltag	Sum	Tiltag
01 Ydervæg +200 mm (U = 0,18)	561	561	29,1	87,2	0,48
02 Loft +250 (U = 0,13)	184	745	29,3	74,2	0,16
03 Vinduer	633	1.378	27,9	61,9	0,57
04 Kælderydervæg + 150 mm (U = 0,21)	318	1.696	14,4	55,5	1,11
05 Kældervæg mod jord + 150 mm (U = 0,18)	282	1.978	8,5	51,7	1,66
06 Oliefyr	179	2.156	9,0	47,8	1,00
07 VVB	51	2.207	0,4	47,6	6,38
08 Cirkulationspumpe	13	2.220	6,5	44,7	0,10

Tabel 20. Miljøregnskab for energitiltagene for eksisterende parcelhus fra før 70'erne.

Energitiltag	CO ₂ udledning	Besparelse		Forbrug	
	kg-CO ₂ /år	kg-CO ₂ /år		pr. m ² -etageareal pr. år	
	Sum	Tiltag	Sum	liter-olie	kWh-el
00	11.774	-	-	21,4	4,8
01 Ydervæg +200 mm (U = 0,18)	10.261	1.513	1.513	18,5	4,6
02 Loft +250 (U = 0,13)	8.739	1.522	3.035	15,6	4,6
03 Vinduer	7.290	1.449	4.484	12,9	4,3
04 Kælderydervæg + 150 mm (U = 0,21)	6.544	746	5.230	11,5	4,2
05 Kældervæg + 150 mm (U = 0,18)	6.103	441	5.671	10,6	4,2
06 Oliefyr	5.643	460	6.131	9,6	4,9
07 VVB	5.622	21	6.152	9,5	4,9
08 Cirkulationspumpe	5.265	357	6.508	9,5	2,3

Eksempel – Parcelhus efter 70'erne

Parcelhuset fra efter 70'erne antages at have et samlet opvarmet etageareal på 120 m² i ét plan.

I huset antages der at være 100 mm isolering i ydervægge og loft samt 50 mm isolering i terrændækket. Det svarer til en U-værdi for de lette ydervægge på 0,41 W/m² pr K, for loftet på 0,36 W/m² pr K og for terrændækket på 0,38 W/m² pr K. Ydervægsfundamentene er rene betonfundamenter med et linjetab på 0,7 W/m pr. K. Vinduerne er almindelige trævinduer med gennemgående sprosser. Ruderne er almindelige termoruder eller anden løsning med 2-lag glas. U-værdien for vinduerne og døre er ca. 2,9 W/ m² pr K. I huset er der et ældre oliefyr og naturlig ventilation.

Det beregnede energibehov for huset er 268 kWh/m² pr. år.

Resultaterne for huset er angivet i tabel 21 – 25.

Tabel 21. Energitiltag og investering for eksisterende parcelhus fra efter 70'erne. Energibesparelser i forbindelse med almindeligt vedligehold.

Energitiltag	Enhed	Investering
		kr. pr. enhed
01 Ydervæg +150 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	375
02 Loft +200 (U = 0,13)	kr. pr. m ²	250
03 Vinduer	kr. pr. m ²	0
04 Oliefyr	kr. i alt	0
05 VVB	kr. i alt	0
06 Cirkulationspumpe	kr. i alt	0

Tabel 22. Energitiltag og investering for eksisterende parcelhus fra efter 70'erne. Renovering for at opnå energibesparelser.

Energitiltag	Enhed	Investering
		kr. pr. enhed
01 Ydervæg +150 mm (U = 0,18)	kr. pr. m ²	1.200
02 Loft +200 (U = 0,13)	kr. pr. m ²	250
03 Vinduer	kr. pr. m ²	4.000
04 Oliefyr	kr. i alt	35.000
05 VVB	kr. i alt	10.000
06 Cirkulationspumpe	kr. i alt	2.500

Tabel 23. Investering, besparelse og relativt energibehov for eksisterende parcelhus fra efter 70'erne. Energibesparelser i forbindelse med almindeligt vedligehold.

Energitiltag	Investering		Besparelse		Energibehov	Invest. pr. bespar.
	kr./m ² -etageareal		kWh/m ² pr. år		% af oprindelig	kr. pr. kWh
	Tiltag	Sum	Tiltag	Sum	Tiltag	
01 Ydervæg +150 mm (U = 0,18)	306	306	24,3	90,9	0,32	
02 Loft +200 (U = 0,13)	250	556	29,7	79,8	0,21	
03 Vinduer	0	556	42,9	63,8	0,00	
04 Oliefyr	0	556	13,8	58,7	0,00	
05 VVB	0	556	0,7	58,4	0,00	
06 Cirkulationspumpe	0	556	10,5	54,5	0,00	

Tabel 24. Investering, besparelse og relativt energibehov for eksisterende parcelhus fra efter 70'erne. Renovering for at opnå energibesparelser..

Energitiltag	Investering		Besparelse	Energibehov	Invest. pr. bespar.
	kr./m ² -etageareal		kWh/m ² pr. år	% af oprindelig	kr. pr. kWh
	Tiltag	Sum	Tiltag	Sum	Tiltag
01 Ydervæg +150 mm (U = 0,18)	980	980	24,3	90,9	1,01
02 Loft +200 (U = 0,13)	250	1.230	29,7	79,8	0,21
03 Vinduer	1.000	2.230	42,9	63,8	0,58
04 Oliefyr	292	2.522	13,8	58,7	1,06
05 VVB	83	2.605	0,7	58,4	5,95
06 Cirkulationspumpe	21	2.626	10,5	54,5	0,10

Tabel 25. Miljøregnskab for energitiltagene for eksisterende parcelhus fra efter 70'erne.

Energitiltag	CO ₂ udledning		Besparelse		Forbrug	
	kg-CO ₂ /år		kg-CO ₂ /år		pr. m ² -etageareal pr. år	
	Sum	Tiltag	Sum		liter-olie	kWh-el
00	8.552	-	-		25,0	7,2
01 Ydervæg +150 mm (U = 0,18)	7.780	772	772		22,6	7,1
02 Loft +200 (U = 0,13)	6.835	945	1.717		19,7	6,9
03 Vinduer	5.470	1.365	3.082		15,4	6,7
04 Oliefyr	5.035	434	3.516		13,8	7,7
05 VVB	5.013	22	3.539		13,7	7,7
06 Cirkulationspumpe	4.660	353	3.891		13,7	3,5

Optimal efterisolering

I tabel 26 er vist optimalt isoleringsniveau for efterisolering. Optimummet er bestemt efter samme princip, som for nybyggeriet. Isoleringsniveauet for optimummet er dog generelt lavere ved renovering end ved nybyggeri på grund af højere omkostningsniveau. For bestemmelse af optimalt isoleringsniveau er det uden betydning om energibesparelserne sker som en del af den almindelige udskiftning og renovering af huset - eller om de sker ud fra ønsket om at opnå energibesparelser med det samme, således at også endnu anvendelige bygningsdele og installationer med en vis restlevetid udskiftes og renoveres primært for at opnå en energibesparelse.

I tabel 28 er vist startniveauet, hvor det kan betale sig at gøre noget ved bygningsdelens isoleringsevne. Dette er vist både, når energibesparelserne sker i takt med den almindelige udskiftning og renovering af huset – og når energibesparelserne ønskes med det samme, således at også bygningsdele med en vis restlevetid udskiftes og renoveres primært for at opnå en energibesparelse. For isolering i tilgængelige konstruktioner er der ikke forskel på startniveauet, mens der for isolering i lukkede konstruktioner er stor forskel på startniveauet for, hvornår efterisoleringen kan betale sig.

Tabel 26. Økonomisk optimale U-værdier og tilsvarende typisk isoleringstykkelse ved renovering samt forudsatte restlevetider for bygningsdelene.

Konstruktion	Isolering		Levetid
	W/m ² pr. K	mm	År
Loft i åbent luftrum	0,16	220	40
Skunkvæg i tilgængeligt skunkrum	0,16	220	40
Skråvæg og paralleltag	0,24	160	40
Do. indenfor spærhøjden	0,17	240	40
Let ydervæg	0,24	170	40
Betonsvæg med isolering udvendig i let konstruktion	0,25	170	40
Betonsvæg med isoleringssystem og puds udvendig	0,42	80	40
Betonsandwichelement: som for andre betonsvægge	-	-	40
Terrændæk	0,21	170	40
Terrændæk med gulvvarme	0,17	220	40

Tabel 27. Startniveau for isolering af bygningsdelene henholdsvis i forbindelse med almindeligt vedligehold og alene for at opnå energibesparelser. Hvis U-værdien er lavere end angivet i tabellen er det ikke rentabelt at gennemføre tiltag.

Konstruktion	Ved alm. vedligehold		For energibesparelser	
	W/m ² pr. K	mm	W/m ² pr. K	mm
Loft i åbent luftrum	0,22	150	0,22	150
Skunkvæg i tilgængeligt skunkrum	0,23	140	0,23	140
Skråvæg og paralleltag	0,31	120	0,75	45
Do. indenfor spærhøjden	0,23	170	0,75	45
Let ydervæg	0,31	130	0,75	45
Betonsvæg med isolering udvendig i let konstruktion	0,75	45	0,75	45
Betonsvæg med isoleringssystem og puds udvendig	0,75	45	0,75	45
Betonsandwichelement: som for andre betonsvægge	-	-	-	-
Terrændæk	0,34	90	>1	0
Terrændæk med gulvvarme	0,27	120	0,75	15

Konklusioner

Analyserne viser, at der er et betydeligt energibesparelspotentiale i både nyt og eksisterende byggeri på Færøerne. Generelt er det muligt at halvere energibehovet til bygningsdrift herunder rumopvarmning, varmt brugsvand, ventilation og belysning ved at gennemføre privat- og samfundsøkonomisk rentable energibesparelsetiltag. Energibesparelserne vil samtidig medføre en tilsvarende reduktion af CO₂-udledning fra færøske bygninger. Energitrækskrav i et kommende færøsk bygningsreglement kan i betydelig grad være med til at fremme en gunstig udvikling på området.

For nybyggeriet kan reduktionen af energibehovet mest hensigtsmæssigt opnås ved bedre isolering af konstruktionerne i kombination med mere energieffektive installationer fx kedler, pumper og belysning i erhverv og institutioner. En del af reduktionen kan også opnås ved at anvende mekanisk ventilation med varmegenvinding. Energibesparelse ved anvendelse af mekanisk ventilation forudsætter, at anlæggene vedligeholdes. Energirammen giver stor fleksibilitet med hensyn til valg af energiløsninger i de enkelte bygninger. Energiløsningerne bør således tilpasse behov og forudsætninger i den enkelte bygning. Investeringen for at halvere energibehovet i nybyggeriet er 900-1.100 kr./m²-etageareal ekskl. moms.

For det eksisterende byggeri kan der opnås de største energibesparelser i det ældste byggeri, forudsat det ikke er belagt med restriktioner af hensyn til bevaringsværdi. I parcelhuseksemplet fra før 70'erne er energibesparelspotentialet 55 % med en investering på ca. 1.000 kr./m²-etageareal ekskl. moms. I parcelhuseksemplet fra efter 70'erne er energibesparelspotentialet 45 % med en investering på ca. 550 kr./m²-etageareal ekskl. moms. Investeringerne ovenfor forudsætter, at energibesparelserne sker i takt med den almindelige udskiftning og renovering af huset. Hvis energibesparelserne forceres ud fra ønsket om at opnå energibesparelser med det samme, således at også endnu anvendelige bygningsdele og installationer med en vis restlevetid udskiftes og renoveres primært for at opnå energibesparelser, stiger investeringsbehovet i de to eksempler til henholdsvis ca. 2.200 kr./m²-etageareal ekskl. moms og ca. 2.600 kr./m²-etageareal ekskl. moms.

Det er ikke i rapporten analyseret, om det vil være hensigtsmæssigt i større udstrækning at anvende varmepumper til bygningsopvarmning. Med de nuværende forsyningsforhold på Færøerne er der ikke noget, som indikerer, at anvendelsen af varmepumper vil medføre væsentlig reduktion af primærenergiforbruget og CO₂-udledning fra de færøske bygninger. Dette kan selvfølgelig ændre sig, hvis varmepumpernes virkningsgrad forbedres eller elforsyningen på Færøerne i større udstrækning baseres på vedvarende energi som fx vand- og vindkraft. Under alle omstændigheder vil det kræve en udbygning af den færøske elforsyning. Inden der anvendes varmepumper til bygningsopvarmning i større udstrækning bør forholdene analyseres nærmere. Det bør i den forbindelse overvejes, om der eventuelt skal være særlige regler for varmepumper.

På tilsvarende vis bør det overvejes, om spildvarmen fra elproduktionen i større udstrækning kan anvendes til bygningsopvarmning.

I analyserne er det forudsat, at der er et tilfredsstillende indeklima i bygningerne både før og efter gennemførelse af energibesparende tiltag. Erfaringerne fra bl.a. Danmark viser, at det ikke nødvendigvis er tilfældet, og at uhensigtsmæssige energibesparelser kan medføre en forringelse af indeklimaet. Det er derfor særdeles væsentligt, at der samtidig med at der stilles krav om reduktion af energiforbruget, også bliver større fokus på at opnå et godt indeklima i bygningerne fx gennem indførelse af tilsvarende krav til indeklimaet i det kommende færøske bygningsreglement.

Henvisninger

BR 08. Bygningsreglement 2008, 2. udgave. Erhvervs og byggestyrelsen, december 2008.

SBi-anvisning 213. Bygningers energibehov. Statens Byggeforskningsinstitut, 2008.

Be06/10. Pc-program til beregning af bygningers energibehov, version 4/6. Statens Byggeforskningsinstitut, 2008/2010.

DS 418. Beregning af bygningers varmetab. DS 418:2002 med efterfølgende tillæg. Dansk Standard, 2002.

DS 447. Norm for varmeanlæg med vand som varmemærende medium. DS 452:1991 med efterfølgende tillæg. Dansk Standard, 1991.

DS 452. Termisk isolering af tekniske installationer. DS 452:1999. Dansk Standard, 1999.

V&S prisdata. Husbygning hhv. Bygningsdele. V&S Byggedata, 2009.

Onshore Climate Review for the Faroe Islands. Faroese GEM joint industry project. Danish Meteorological Institute, 2001.

Jordens klima. - Guide til vejr og klima i 156 lande (update). Teknisk rapport (online) TR 01-17. Danmarks Meteorologiske Institut, 2001.

Meteonorm. Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education. Version 5.0 – Edition 2003. Meteotest, 2003.

Bjálvingarleidbeining. Orkuráðid, 1984.

IEA. Projections: Lessons learned from the energy policies of IEA countries – Documentation for beyond 2020 files. International Energy Agency, 2008.

SBi 2009:04. Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover. Økonomisk analyse. Statens Byggeforskningsinstitut, 2009.

Bilag 1. Primærenergifaktor og CO₂-faktor for el

Ifølge oplysninger fra SEV består elproduktionen på Færøerne af 38 % vandkraft, 5 % vindkraft og 57 % termisk kraft fra dieselmotorer. Den termiske kraft i Tórshavn, som udgør hovedparten af den termiske elproduktion, leverer normalt kun varme til fjernvarmen i Tórshavn i særlige situationer fx i forbindelse med reparation på fjernvarmeværket. Elvirkningsgraden af værket er ifølge SEV 42-44 %, og der er et transmissionstab i elnettet på 5-6 %, som igen ifølge SEV giver en resulterende virkningsgrad an forbruger på 38 %. Dette svarer til en primærenergifaktor for den termiske elproduktion på 2,63. I henhold til IEA skal der anvendes en primærenergifaktor på vandkraft på 2,50 og på vindkraft på 1,00. Primærenergifaktoren for den samlede færøske elproduktion bliver således sammenvejet 2,50. Der er ikke væsentlig forskel på den gennemsnitlige primærenergifaktor og den marginale primærenergifaktor for den sidst producerede kWh-el, da primærenergifaktoren for den termiske elproduktion er 2,63.

CO₂-udledning ved brug af diesel er 0,265-0,281 kg-CO₂/kWh afhængig af kvalitet. CO₂-udledning ved den termiske kraftproduktion bliver således ca. 0,700 kg-CO₂/kWh-el an forbruger. Den gennemsnitlige CO₂-udledning fra elproduktionen, når der tages hensyn til andelen af vand- og vindkraft, bliver ca. 0,400 kg-CO₂/kWh-el an forbruger. Den sidst producerede kWh-el kommer i stor udstrækning fra den termiske elproduktion, det er derfor mest relevant at anvende den marginale CO₂-udledningsfaktor (miljøfaktor), når der skal ses på konsekvenserne for CO₂-udledning ved at reducere energibehovet i nyt og eksisterende byggeri, herunder konsekvensen af at reducere behovet til fx pumper, ventilatorer og belysning samt af at konvertere varme-forbrug til elforbrug ved at introducere varmepumper til bygningsopvarmning.

Bilag 2. Vejr

For at kunne udføre energiberegninger med færøske vejrdato er der behov for at kende månedsmiddeltemperaturer og solindfald i afhængighed af fladens orientering og hældning. Desuden er der behov for at kende vindhastigheden for at kunne bestemme ventilationen gennem utætheder i klimaskærmen, infiltrationen.

Da der ikke er et færøsk referenceår, og der ikke måles solstråling på Færøerne, er det nødvendigt at anvende data fra Meteonorm, for at generere vejrdato til Be10. Desuden er der behov for at anvende Meteonorm til at bestemme den statistiske fordeling af de enkelte vejrdato i et normalår, herunder at bestemme den dimensionerende udetemperatur. Meteonorms data er for Tórshavn, men må antages at kunne benyttes generelt på Færøerne, bortset fra vindforhold på udsatte steder ved kysten.

I tabel 28 er vist månedsmiddeltemperaturer for de færøske vejrstationer i et normalår. Dataene er fra: *Onshore Climate Review for the Faroe Islands*. Desuden er vist minimum, middel og maksimum månedsmiddeltemperatur for stationerne samt Meteonorms månedsmiddeltemperatur for Færøerne.

Det ses, at Meteonorms månedsmiddeltemperaturer stemmer rimeligt godt overens med vejrdato for normalåret for de færøske vejrstationer, og at afvigelsen mellem Meteonorm og de færøske stationer er væsentligt mindre end forskellen på de færøske stationer.

I tabel 29 er vist solskinstimer for Tórshavn samt for andre vejrstationer i Nordatlanten, som ligger tættest på Tórshavn. Vejrdato for nærliggende stationer er fra Jordens Klima. Det ses, at solskinstimerne på Færøerne ligger lavt i forhold til de omgivne stationer.

Tabel 28. Månedsmiddeltemperatur i et normalår for de færøske vejrstationer, minimum, middel og maksimum for disse samt Meteonorm's vejrdato for Færøerne.

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Året
Mykines	3,8	3,4	3,5	4,6	6,3	8,2	9,2	9,8	8,9	7,3	4,9	3,6	6,1
Akraberg	4,0	3,9	4,0	4,8	6,6	8,3	9,6	10,0	8,9	7,4	5,2	4,3	6,4
Vágar	2,8	2,7	3,1	4,2	6,7	8,7	10,2	10,4	8,7	6,8	4,2	3,2	6,0
Tórshavn	3,6	3,6	3,8	4,9	6,9	9,0	10,3	10,6	9,2	7,4	4,9	3,7	6,5
Kirkja	4,5	3,7	4,1	5,0	7,1	8,8	10,4	11,1	9,7	7,5	5,8	4,3	6,9
Nólsoy	3,5	3,8	3,9	4,7	6,7	8,5	9,9	10,2	8,8	7,3	5,0	4,0	6,3
Sandur	3,9	4,1	4,3	5,5	7,7	9,6	11,0	11,2	9,5	7,8	5,4	4,2	7,0
Min.	2,8	2,7	3,1	4,2	6,3	8,2	9,2	9,8	8,7	6,8	4,2	3,2	6,0
Middel	3,7	3,6	3,8	4,8	6,9	8,7	10,1	10,5	9,1	7,4	5,1	3,9	6,5
Maks.	4,5	4,1	4,3	5,5	7,7	9,6	11,0	11,2	9,7	7,8	5,8	4,3	7,0
Meteonorm	3,4	3,6	3,8	4,9	6,9	9,0	10,3	10,6	9,1	7,5	4,8	3,8	6,5

Tabel 29. Solskinstimer i normalåret for Tórshavn samt for de nærmest liggende vejrstationer.

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Året
Tórshavn	14	36	71	104	132	130	107	98	79	49	21	7	834
Akureyri	7	33	79	107	163	168	154	116	78	55	13	0	973
Hornafirdi	33	76	114	130	164	146	145	137	110	76	48	18	1197
Reykjavik	24	56	111	136	182	182	180	166	106	72	34	9	1258
Lerwick	25	51	90	132	165	158	125	117	105	67	33	14	1082
Kirkwall	34	60	99	150	169	170	135	129	114	79	40	25	1204
Stornoway	35	62	108	142	195	173	128	133	111	76	45	26	1234
Bergen	22	54	127	142	191	175	167	132	103	69	29	13	1224
Stavanger	48	79	140	168	226	222	197	159	141	80	45	33	1538

Tabel 30. Middelvindhastighed i normalåret for Tórshavn samt for de andre vejrstationer på Færøerne.

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Året
Mykines	10,0	10,7	10,8	8,3	7,1	6,6	6,5	6,7	8,3	9,3	10,6	10,3	8,5
Akraberg	10,6	10,1	9,9	8,3	7,1	6,5	6,4	6,5	7,9	9,1	9,8	10,6	8,6
Vágar	7,8	7,7	7,6	6,9	6,2	5,9	5,8	5,7	6,7	7,3	7,3	7,8	6,9
Tórshavn	7,2	7,1	7,0	6,0	5,0	4,8	4,7	4,6	5,8	6,6	6,7	7,1	6,1
Meteonorm	6,9	6,6	6,6	5,8	4,8	4,4	4,9	4,4	5,8	6,5	6,5	7,0	5,9

Tabel 31. Vejrdata i Meteonorm for Færøerne, Tórshavn.

	Solstråling i kWh/m ²			Udetemp.	Vindhast.	Graddøgn
	Global	Diffus	Direkte	°C	m/s	°C·døgn
Året	822	497	808	6,5	5,9	4931
Juni - aug.	377	236	269	10,0	4,6	923
Sep. - Maj	444	261	539	5,3	6,3	4008
Okt. - Apr.	245	137	378	4,6	6,6	3275

I tabel 30 er vist den månedsvise middelvindhastighed for kyststationerne Mykines og Akraberg samt for lufthavnen i Vágar og for Tórshavn. Det ses, at Meteonorm's vinddata for Færøerne stemmer rimeligt godt med vindnormalerne for Tórshavn.

I tabel 31 er opsummeret Meteonorms vejrdata for Færøerne. I Meteonorms vejrdata for Færøerne er der 5 timer med udetemperatur på -8,0 °C eller lavere. Ud fra dette kunne den dimensionerende udetemperatur fastsættes til -8,0 °C.

I tabel 32 og tabel 33 (på næste side) er for at kunne foretage sammenligninger angivet vejrdata for Danmark.

Tabel 32. Udetemperatur for danske forhold i Be10 samt solskinstimer og vindhastighed for kyststationerne i et dansk normalår.

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Året
Udetemperatur	-0,5	-1,0	1,7	5,6	11,3	15,0	16,4	16,2	12,5	9,1	4,8	1,5	7,7
Solskinstimer	41	65	127	181	256	257	247	221	166	98	42	28	1729
Vindhastighed	4,5	4,5	4,2	4,2	3,9	3,8	3,7	3,6	3,7	4,0	4,1	4,2	4,0

Tabel 33. Vejrdata i det danske referenceår, DRY.

	Solstråling i kWh/m ²			Udetemp.	Vindhast.	Graddøgn
	Global	Diffus	Direkte	°C	m/s	°C·døgn
Året	1002	510	997	7,8	4,4	4509
Juni - aug.	459	229	389	15,8	3,7	419
Sep. - Maj	543	281	608	5,0	4,6	4090
Okt. - Apr.	298	165	366	3,1	4,7	3592

Bilag 3. Infiltration og tæthed

Vindhastigheden indgår ikke direkte i beregning af energibehovet i Be10 jfr. SBI-anvisning 213 – men indirekte via infiltrationsfaktoren, som benyttes til at beregne infiltrationen ud fra bygningen tæthed ved prøvning. Under dansk forhold beregnes infiltrationen som:

$$0,06 \times q_{50} \text{ liter/sek. pr. m}^2 \text{ opvarmet etageareal.}$$

hvor

0,06 er infiltrationsfaktoren

q_{50} er infiltrationen bestemt ved tæthedsprøvning ved 50 Pa.

Der har været gjort mange forsøg gennem årene på at bestemme infiltrationsfaktoren på et objektivt, videnskabeligt grundlag, men det er aldrig lykkedes, formodentligt fordi der er mange ikke registrerbare forhold, som spiller ind. Infiltrationsfaktoren for danske forhold er derfor baseret på et skøn for forskellige bygningstyper, bebyggelser og beliggenheder baseret på europæiske standarder. Ved en vindhastighed på 4,5 m/s og en udetemperatur på 1,5 °C, som svarer til danske gennemsnitsforhold i opvarmningssæsonen, har et typisk dansk parcelhus uden aftrækskanaler eller med lukkede aftrækskanaler beliggende i åbent landskab omgivet af beplantning og andre huse med ½ højde af det aktuelle hus med vind på facaden netop en beregningsmæssige infiltrationsfaktor på 0,06. Ved vind på gavlen er infiltrationsfaktoren 0,04.

Flyttes det samme parcelhus med de samme forudsætninger om omgivelser til det færøske klima med en typisk gennemsnitlig vindhastighed på 6,5 m/s og en udetemperatur på 5,0 °C stiger infiltrationsfaktoren til 0,08. For det samme parcelhus uden omgivende beplantning, bygninger eller anden beskyttelse mod vinden øges infiltrationsfaktoren til 0,11. Ved vind på gavlen er infiltrationsfaktoren tilsvarende henholdsvis 0,05 og 0,06.

På baggrund af ovenstående skønnes det relevant at bruge en infiltrationsfaktor på 0,08 for færøske forhold.

Infiltrationsfaktoren har størst betydning i utætte bygninger og i bygninger med balanceret mekanisk ventilation og varmegenvinding, hvor det ønskes at størst mulig andel af ventilationsluftstrømmen går gennem varmegenvinderen. Infiltrationsfaktoren har lille eller ingen betydning i naturligt ventilerede, nogenlunde tætte bygninger, hvor det alene er et spørgsmål om i hvilken udstrækning den nødvendige ventilationsluftstrøm skal komme ind gennem utætheder i klimaskærmen som infiltration eller via udeluftventiler, aftrækskanaler og ved åbning af vinduer.

Der mangler konkret viden om færøske bygningers tæthed, og det er derfor vanskeligt at vide, om de faktisk i ovenstående sammenhæng er tilstrækkeligt tætte.

Bilag 4. Byggeomkostninger

For danske forhold er der lang tradition for at anvende prisbøger fra V&S ved vurdering af byggeomkostninger. Oplysningerne er nødvendige for at kunne vurdere investeringer i energieffektive løsninger i nybyggeriet og ved renovering. For færøske forhold er der desværre ikke en tilsvarende mulighed. De færøske byggematerialepriser er derfor i stedet bestemt ud fra tilbud indhentet fra den største tømmerhandel i Tórshavn, som er sammenlignet med tilsvarende tilbud indhentet fra en større tømmerhandel i Danmark. Sammenligningen er dernæst brugt til at justere priserne fra de danske prisbøger til færøske forhold.

På de efterfølgende sider er gengivet færøske og danske indkøbspriser for en række typiske byggematerialer af betydning for bygningernes energieffektivitet.

For facadevinduer kan noget af prisforskellen mellem Færøerne og Danmark skyldes at vinduer i Danmark normalt leveres overfladebehandlede, mens vinduer på Færøerne normalt leveres ubehandlede.

Generelt er materialepriserne højere på Færøerne end i Danmark. For tømmer er forskellen 30-80 % og for isolering er den 50- 60 %.

Specielt letklinkerblokke er dyrere på Færøerne end i Danmark. Fundamentsblokke med midterisolering er ikke med på de færøske prisliste og er i givet fald åbenbart noget, som skal bestille specielt hjem.

I Tabel 41 er på tilsvarende vis opgjort arbejdslønnen på Færøerne og i Danmark. Arbejdslønnen er her den fakturerede løn. Det ses, at lønnen er 25-40 % lavere på Færøerne end i Danmark.

Ved økonomiberegningerne i denne rapport er det valgt at antage, at omkostningerne ved energieffektivisering af nybyggeriet og ved renovering på sigt vil stabilisere sig på et prisniveau, der ligger 20 % over de danske priser for summen af materialer og arbejde ved tømmer- og isoleringsarbejder. For andre arbejder som fx vinduer og installationer regnes med et samlet prisniveau for summen af materialer og arbejde, som svarer mere til de danske priser. Med til denne antagelse hører, at der må forventes en vis stigning i de færøske priser, når der kommer fokus på området, og branchen skal indstille sig til nye, mere energieffektive løsninger. Om de færøske priser vil falde på lang sigt kan vanskeligt forudsiges, da mange faktorer spiller ind på prisdannelsen. Der knytter sig selvfølgelig en vis usikkerhed til prisantagelserne.

Tabel 34. Færøske og danske priser for tømmer i kr. pr. meter ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Tømmer	FO: kr./m	DK: kr./m	Difference: FO-DK i %
50 x 100 mm	10,50	7,60	38
50 x 125 mm	12,50	7,80	60
50 x 150 mm	15,50	12,10	28
50 x 175 mm l	20,00	18,25	10
63 x 125 mm l	18,00	10,00	80
63 x 150 mm l	21,60	12,00	80
75 x 150 mm l	27,00	14,50	86
75 x 175 mm l	31,50	19,50	62

Tabel 35. Færøske og danske priser for sidehængte facadevinduer i kr. pr. stk. ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Facadevinduer	FO: kr./stk.	DK: kr./stk.	Difference: FO-DK i %
0,6 m x 1,2 m	1.938	1.988	-2
0,7 m x 1,2 m	3.200	2.345	36
1,0 m x 1,3 m	2.518	2.856	-12
1,2 m x 1,2 m	2.354	2.704	-13
1,3 m x 1,3 m	2.753	3.012	-9
1,5 m x 1,2 m	2.991	3.140	-5

Tabel 36. Færøske og danske priser for tagvinduer i kr. pr. stk. ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Tagvinduer	FO: kr./stk.	DK: kr./stk.	Difference: FO-DK i %
Velux GGL-C02	1.550	1395	11
Velux GGL-C04	1.950	1560	25
Velux GGL-F06	2.175	1950	12
Velux GGL-M08	2.290	2050	12
Velux GGL-M04	2.100	1890	11

Tabel 37. Færøske og danske priser for almindelig mineraluld til fx loft og væg i kr. pr. m² ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Mineraluld til fx loft og væg	FO: kr./ m ²	DK: kr./ m ²	Difference: FO-DK i %
50 mm	19	12	58
75 mm	28	18	56
100 mm	38	24	58
150 mm	58	36	61

Tabel 38. Færøske og danske priser for polystyren gulvplader i kr. pr. m² ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Polystyren gulvplader	FO: kr./ m ²	DK: kr./ m ²	Difference: FO-DK i %
50 mm, lav densitet	30	15	97
50 mm, høj densitet	54	35	53
75 mm, lav densitet	47	32	45
75 mm, høj densitet	80	53	52
100 mm, lav densitet	62	42	47
100 mm, høj densitet	110	71	56

Tabel 39. Færøske og danske priser for plastfolie til dampspærre i kr. pr. m² ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Plastfolie til dampspærre	FO: kr./ m ²	DK: kr./ m ²	Difference: FO-DK i %
0,15 mm	2,16	4,75	-55
0,20 mm	2,95	4,75	-38

Tabel 40. Færøske og danske priser for letklinker løsfyld og blokke i kr. pr. enhed ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Letklinker løsfyld og blokke	FO: kr./enhed	DK: kr./enhed	Difference: FO-DK i %
100 liter poser hhv. løst	82	75	9
10 x 19 x 49 cm	21	8	159
15 x 19 x 49 cm	22	12	80
19 x 19 x 49 cm	30	15	100

Tabel 41. Færøske og danske arbejdslønninger i kr. pr. time ekskl. moms samt differencen mellem færøske og danske priser i procent bestemt som færøsk pris minus dansk pris for det samme tømmer.

Arbejdsløn	FO: kr./time	DK: kr./time	Difference: FO-DK i %
Tømrer	300	407	-26
Snedker	300	407	-26
VVS	300	493	-39
Jord/Beton	300	419	-28
El	300	493	-39
Maler	300	383	-22

Bilag 5. Energibehov på Færøerne og i Danmark

I tabel 42 er sammenlignet energibehovet under færøske forhold i forhold til energibehovet under danske forhold for de i øvrigt samme bygninger. Bygningseksemplerne kommer fra henholdsvis eksempelsamlingen på EBST's hjemmeside og SBI-anvisning 213.

For boligbyggerierne er der et markant større energibehov på Færøerne end i Danmark, hvilket hænger sammen med den i gennemsnittet lavere ude-temperatur, den længere opvarmningssæson, som i alle boligbyggerierne er hele året på Færøerne, og det mindre solvarmetilskud på Færøerne.

For administrationsbygningen, som er i en etage, er der ikke forskel på energibehovet under færøske og danske forhold. For kontorbyggeriet, som er i fire etager, er energibehovet under færøske forhold lavere end under danske forhold. Det kan tyde på at bygningernes kompakthed og varmebalanceforhold påvirker sammenligningen. At kontorbyggeriet ligger særligt lavt i energibehov under færøske forhold skyldes formodentlig, at rumopvarmningen kan afbrydes et par måneder midt på sommeren selv på Færøerne.

Tabel 42. Energiramme i det danske bygningsreglement BR 08 samt energibehov med danske vejrdato, energibehov med færøske vejrdato og difference mellem disse bestemt som behov med færøske vejrdato minus behov med danske vejrdato alle angivet i kWh/m²-etageareal pr. år.

Bygning	Energiramme BR08	Behov DK	Behov FO	Dif. FO - DK
Parcelhus 180 m ² (SBI-anv 213)	82,2	80,0	89,4	9,4
Parcelhus 150 m ² (EBST eksempelsamling)	84,7	82,0	91,6	9,6
Dobbelthus ² (EBST eksempelsamling)	86,2	75,6	83,9	8,3
Rækkehus ² (EBST eksempelsamling)	86,7	70,6	77,7	7,1
Etagehus ² (EBST eksempelsamling)	88,2	85,2	92,2	7,0
Administrationsbygning (SBI-anv 213)	98,4	98,8	98,0	-0,8
Kontorhus ² (EBST eksempelsamling)	95,7	92,4	86,6	-5,8

Bilag 6. Eksempel på inddata til energiberegning

Inddata i Be10 til nyt parcelhus:

Be10 model: Parcelhus_Nyt

Dato 21.12.2011 19.27

Klima: Faroe Islands - Torshavn

Parcelhus_nyt	
Bygningen	
Bygningstype	Fritliggende bolig
Rotation	0,0 deg
Opvarmet bruttoareal	201,3 m ²
Varmekapacitet	100,0 Wh/K m ²
Normal brugstid	168 timer/uge
Brugstid, start - slut, kl	0 - 24
Varmeforsyning og køling	
Grundvarmeforsyning	Kedel

Ydervægge, tage og gulve					
Bygningsdel	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Terrændæk 250 mm	116,5	0,14	1,300		10
Ydervæg 250 mm	90,3	0,18	1,000		
Skillevæg mod gang 75 mm	20,7	0,40	0,863		5
Loft 300 mm	3,1	0,13	1,000		
Skråvæg 250 mm	84,9	0,19	1,000		
Skunkvæg 300 mm	40,4	0,13	1,000		
Skunkgulv 300 mm	47,0	0,13	1,000		
Gavle 250 mm	14,9	0,18	1,000		
I alt	417,8	-	-	-	-

Fundamenter mv.					
Bygningsdel	l (m)	Tab (W/mK)	b	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Ydervæggsfundament	42,2	0,22	1,300		
Skillevæggsfundament	7,8	0,22	1,300		5
Tagvinduer	5,3	0,15	1,000		
Ialt	55,3	-	-	-	-

Vinduer og yderdøre

Vinduer og yderdøre										
Bygningsdel	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m²)	U (W/m²K)	b	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)
V1 - N	2	0	90,0	1,4	0,89	1,000	0,78	0,55	Terrasse	1,00
V2 - N	3	0	90,0	1,6	0,88	1,000	0,79	0,55	Frit	1,00
V3 - N	3	0	90,0	0,3	1,19	1,000	0,52	0,55	Frit	1,00
V1 - N	1	0	90,0	1,4	0,89	1,000	0,78	0,55	Frit	1,00
V4 - Ø	1	90	90,0	0,6	1,06	1,000	0,64	0,55	Bakke	1,00
V1 - S	2	180	90,0	1,4	0,89	1,000	0,78	0,55	Bakke	1,00
V4 - S	1	180	90,0	0,6	1,06	1,000	0,64	0,55	Lukket	1,00
Yderdør - S	1	180	90,0	1,9	0,96	1,000	0,36	0,55	Lukket	1,00
V1 - V	1	270	90,0	1,4	0,89	1,000	0,78	0,55	Frit	1,00
Havedør - V	1	270	90,0	1,7	0,94	1,000	0,74	0,55	Frit	1,00
V2 - V	1	270	90,0	1,6	0,88	1,000	0,79	0,55	Frit	1,00
V2 smal - V	1	270	90,0	0,8	1,05	1,000	0,65	0,55	Venstre	1,00
V6 - Ø	1	90	90,0	1,0	0,94	1,000	0,74	0,55	Bakke	1,00
V6 - V	1	270	90,0	1,0	0,94	1,000	0,74	0,55	Frit	1,00
V5 - N	2	0	30,0	0,4	1,80	1,000	0,46	0,60	Frit	1,00
V5 - S	2	180	30,0	0,4	1,80	1,000	0,46	0,60	Bakke	1,00
Yderdør - Ø	1	90	90,0	1,9	0,96	0,863	0,36	0,55	Lukket	1,00
Yderdør - V	1	270	90,0	1,9	0,96	0,863	0,36	0,55	Frit	1,00
Garage V4 - S	3	180	90,0	0,6	1,06	0,863	0,64	0,55	Bakke	1,00
Garage V4 - V	2	270	90,0	0,6	1,06	0,863	0,64	0,55	Frit	1,00
I alt	31	-	-	32,1	-	-	-	-	-	-

Skygger					
Beskrivelse	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
Frit	10	20	0	0	3
Bakke	20	20	0	0	3
Terrasse	10	30	0	0	3
Lukket	90	0	0	0	3
Venstre	10	50	80	0	3

Ventilation								
Zone	Areal (m²)	qm (l/s m²), Vinter	n vgv (-)	ti (°C)	EI-VF	qn (l/s m²), Vinter	SEL (kJ/m³)	qn,s (l/s m²), Sommer
Huset	201,3	0,30	0,80	0,0	Nej	0,16	1,2	0,30

Internt varmetilskud				
Zone	Areal (m²)	Personer (W/m²)	App. (W/m²)	App,nat (W/m²)
Hele opvarmet hus	201	1,5	3,5	0,0

Varmefordelingsanlæg				
Opbygning og temperaturer				
Fremløbstemperatur	50,0 °C			
Returløbstemperatur	30,0 °C			
Anlægstype	2-streng	Anlægstype		
Pumper				
Pumpetype	Beskrivelse	Antal	Pnom	Fp
Kombi-pumpe (konst. i opvarmningsæson)	Cirkulationspumpe	1	45,0 W	0,40

Varmt brugsvand			
Beskrivelse	Varmt brugsvand		
Varmtvandsforbrug	250,0 liter/år pr. m²-etageareal		
Varmt brugsvand temperatur	55,0 °C		
Varmvandsbeholder			
Beholdervolumen	110,0 liter		
Fremløbstemperatur fra centralvarme	65,0 °C		
El-opvarmning af VBV	Nej		
Solvarmebeholder med spiral i top	Nej		
Varmetab fra varmtvandsbeholder	2,0 W/K		
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,0		
Varmetab fra tilslutningsrør til VVB			
Længde	Tab	b	Beskrivelse
1,0 m	0,1 W/K	0,00	

Kedel				
Brændsel			Olie	
Nominel effekt			18,9 kW	
Andel af nominel effekt til VBV, -			1,0	
Nominelle virkningsgrader				
Type	Last	Virkningsgrad	Kedel temp.	Korrektion
Fuldlast	1,0	0,98	70,0 °C	0,001 -/°C
Dellast	0,3	1,02	35,0 °C	0,001 -/°C
Type	Last	Tabsfaktor	Andel til rum	Temp. dif.
Tomgang	0,0	0,001	0,75	30,0 °C
Driftsforhold				
Kedeltemp, min			30,0 °C	
Temperaturfaktor for opstillingsrum			0,00	
Blæsereffekt			255,0 W	
El til automatik			5,0 W	

Denne rapport indeholder en række analyser af energibesparelsesmulighederne i nyt og eksisterende byggeri på Færøerne som grundlag for at udarbejde et energikapitel i det kommende bygningsreglement for Færøerne.

Analyserne viser, at der er et betydeligt energibesparelspotentiale i både nyt og eksisterende byggeri. Generelt er det muligt at halvere energibehovet til bygningsdrift, herunder rumopvarmning, varmt brugsvand, ventilation og belysning ved at gennemføre privat- og samfundsøkonomisk rentable energibesparestiltag. Energibesparelserne vil samtidig medføre en tilsvarende reduktion af CO₂-udledning fra færøske bygninger. Energikrav i et kommende færøsk bygningsreglement kan i betydelig grad være med til at fremme en gunstig udvikling på området.

1. udgave, 2013

ISBN 978-87-92739-46-9