

Analyse av effekt- og energibruk i badstue

Analysis of power and energy use in sauna

Trondheim Mai 2021

Student
Anders Kristiansen

Veileder
Bjørn Aas, SIAT

Prosjektnr:
2021 - 27

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Som en avslutning på bachelor i ingeniørfag skrives denne oppgaven ved institutt for bygg- og miljøteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet (NTNU), i samarbeid med senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT).

Temaet i oppgaven er en opprinnelig idé fra SIAT som vekket min interesse; energibruk og bygningsfysikken tilknyttet badstuer. Energibruk er et viktig tema i dagens samfunn, og jeg så muligheten til å lære og utvikle egne kunnskaper om dette. Samtidig ønsker jeg belyse et tema som det er gjennomført lite forskning rundt.

Det har vært en lærerik og oppsiktsvekkende periode, men også tidkrevende. Læringskurven har vært bratt, spesielt med tanke på kunnskaper om energibruk og det å sette seg inn i ulike programmer som er benyttet. Oppgavens resultater viser hvor viktig bygningsfysikken er for energibruken, og dette har blitt en viktig lærdom.

Jeg vil takke veilederen min, overingeniør Bjørn Aas ved SIAT. Han har gitt god oppfølging, faglig hjelp og samtaler tilknyttet oppgaven. Jeg takker derfor for et meget godt samarbeid, samt for utlån av måleutstyr.

Takk også til Bodø Spektrum som har gitt meg tilgang til å befare og måle badstuen i Spektrum Velvære. Spesielt takk til Tom Erik Bjørnsen som har tilrettelagt for befaringer, og koblet opp måleinstrumentene i Velværeavdelingen.

Til slutt vil jeg takke venner og familie for god støtte gjennom semesteret.

Bodø, mai 2021



Anders Kristiansen

Sammendrag

I dag er klimaet et belyst tema, samt hvilke tiltak og løsninger som må gjøres for å oppnå et klimavennlig samfunn. Når det gjelder badstuer, spesielt i offentlige bygg, prioriteres ikke energibruken i første rekke. I den «tradisjonelle» badstuen er det vanligvis en stor elektrisk ovn til oppvarming. Dette er mye energi plassert i et lite rom, og bygningsfysikken spiller derfor en viktig rolle for å oppnå en best mulig energiutnyttelse. I denne utredningen ønsker jeg derfor å undersøke hvor mye energi som kreves for å drifte en badstue, samt om det er tiltak som kan redusere energibehovet. Problemstillingen som besvares er: *Hvor mye energi kreves for å drifte en badstue, og hvilke tiltak gir en best mulig energieffektiv badstumodell?*

Oppgaven tar for seg Velværeavdelingen i Bodø Spektrum, og undersøkelsene er gjort på den tradisjonelle finske badstuen. For å kartlegge dagens energibruk er det gjennomført logging av strømforbruk. I tillegg er badstuens bygningsfysikk analysert ved bruk av termisk kamera. For å undersøke tiltak som kan redusere energibruken er det utarbeidet modeller i programmet Simien, som simulerer badstuen med ulike typer bygningsfysikk.

Resultatet viser at dagens oppbygging av badstuer ikke er energivennlige, spesielt glassdøren inn i badstuen. Den finske Badstuen på 10m² bruker like mye energi som en enebolig i året. Det er på grunn av bygningsfysikken ikke er optimalisert for bruken, og det kan ha en sammenheng med at det ikke stilles noen krav ved bygging av badstuene. Med enkle tiltak reduseres energibruket med 60-75%, og det bidrar til at tiltakene også gir et økonomisk løft.

Summary

Today, the climate is an illuminated topic, as well as the measures and solutions that must be taken to achieve a climate-friendly society. When it comes to saunas, especially in public buildings, energy use is not a priority in the first place. In the "traditional" sauna there is usually a large electric stove for heating. This is a lot of energy placed in a small room, and building physics therefore plays an important role in achieving the best possible energy utilization. In this report, I therefore want to investigate how much energy is required to operate a sauna, and whether there are measures that can reduce the energy requirement. The problem that is answered is: How much energy is required to operate a sauna, and what measures provide the best possible energy-efficient sauna model?

The thesis deals with the Wellness Department in Bodø Spektrum, and the examinations were done at the traditional Finnish sauna. In order to map the current energy consumption, logging of electricity consumption has been carried out. In addition, the building physics of the sauna are analyzed using a thermal camera. To investigate measures that can reduce energy consumption, models have been prepared in the Simien program, which simulates the sauna with different types of building physics.

The result shows that the current construction of saunas is not energy-friendly, especially the glass door into the sauna. The Finnish Sauna of 10m² uses as much energy as a detached house a year. This is due to the building physics not being optimized for use, and this may be related to the fact that no scrub is placed when building the saunas. With simple measures, energy consumption is reduced by 60-75%, and this contributes to the measures a Iso providing an economic boost.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iii
Summary.....	iv
Innholdsfortegnelse	v
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Oppgaven.....	1
1.2.1 Problemstilling.....	1
1.3 Begrensninger og avklaringer	2
1.4 Bodø Spektrum	2
1.5 Spektrum Velvære	2
2 Badstuene i Spektrum Velvære	3
2.1 Utforming.....	3
2.2 Drift.....	3
2.3 Oppvarming	3
2.4 Ulike typer badstuer	4
2.4.1 Infrarød.....	4
2.4.2 Saltvannskabin.....	4
2.4.3 Finsk Sauna	5
2.4.4 Dampbad	5
2.4.5 Tepidarium	6
2.4.6 Røtharium.....	6
2.5 Bygningsfysikk.....	6
2.6 Styring og regulering.....	7
3 Teori.....	8
3.1 Regelverk	8
3.1.1 TEK17	8
3.1.2 Energikrav TEK17	8
3.1.3 Krav til Badstue.....	9
3.2 Energi	9
3.2.1 Effekt	9
3.2.2 Elektrisk energi	9
3.2.3 Elektrisk oppvarming.....	9

3.3	Isolering	10
3.3.1	Isoleringsevne.....	10
3.3.2	Etterisolering	10
3.4	Luft.....	10
3.4.1	Luftfuktighet	10
3.4.2	Luftlekkasje.....	11
3.5	Varme.....	11
3.5.1	Varmeteknisk.....	11
3.5.2	Varmetransport.....	12
3.5.3	Varmekonduktivitet.....	12
3.5.4	Varmemotstand (R) og U-verdi	12
3.5.5	Varmetap.....	13
4	Metode	14
4.1	Innhenting av data.....	14
4.1.1	Flir One Pro.....	14
4.1.2	ELITEpro XC™	14
4.1.3	Besøksstall.....	15
4.1.4	Befaring	15
4.2	Simien	15
5	Resultater	17
5.1	Termografering.....	17
5.1.1	Glassdør.....	17
5.1.2	Innvendige bilder.....	19
5.1.3	Utvendige bilder	20
5.2	Elite pro.....	21
5.2.1	Rutiner	21
5.2.2	Dagsforbruk	25
5.3	Simien	26
5.3.1	Års-simulering.....	26
5.3.2	Isolering av tak.....	26
5.3.3	Isolering av vegger og tak.....	27
5.3.4	Isolering av dør	28
5.3.5	Isolering som er aktuelt i Spektrum Velvære.....	29
5.3.6	Isolering av tak, vegg og dør.....	29

5.3.7	Nattsenking	30
6	Diskusjon	32
6.1	Nåværende situasjon	32
6.2	Tiltak	34
6.2.1	Isolering av tak.....	34
6.2.2	Forbedring av dør	35
6.2.3	Etterisolering tak, vegg og forbedring av dør.....	37
6.2.4	Isolasjonsmengde	39
7	Konklusjon	40
7.1.1	Spektrum Velvære	40
7.1.2	Generelle tiltak for badstuer	40
8	Videre forskning	42
	Bildeliste	43
	Grafliste	44
	Tabelliste	44
	Referanseliste	45
	Vedlegg	46
	Vedlegg 1, Artikkel.....	46
	Vedlegg 2, plakat	50
	Vedlegg 3, Bilder tatt under befarings.....	51

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

I dag er klimaet et belyst tema, samt hvilke tiltak og løsninger som må gjøres for å oppnå et klimavennlig samfunn. Dette gjør det svært aktuelt å se nærmere på energibruk. Når det gjelder badstuer, spesielt i offentlige bygg, prioriteres ikke energibruken i første rekke. I den «tradisjonelle» badstuen er det vanligvis en stor elektrisk ovn til oppvarming, som leverer en effekt mellom 15-20 kW. Dette er mye energi plassert i et lite rom, og bygningsfysikken spiller derfor en viktig rolle for å oppnå en best mulig energiutnyttelse.

Det er ikke en enkel badstue i seg selv som utgjør den store energibruken, men ses dette i et større bilde, og tenker på hvor mange badstuer som driftes i Norge, blir det fort et stort antall badstuer. Det totale forbruket har derfor en påvirkning på samfunnet.

På bakgrunn av ovennevnte ønsker jeg med denne oppgaven å undersøke hvor mye energi som faktisk går til å drifte en badstue. Oppgaven vil også se nærmere på tiltak som kan redusere energibehovet til badstuer.

1.2 Oppgaven

Målet med oppgaven er å bevisstgjøre effekt- og energibruket i badstuer. Oppgaven løses med å kartlegge energibruket i Nordlandsbadet, avdeling Spektrum Velvære. Det skal også ses på bygningsfysikken, og hvordan badstuene styres, samt på mulige tiltak for å redusere energibruken. Det er i dag er det ingen formening om hvor mye energi som går til å drifte badstuene.

1.2.1 Problemstilling

Hvor mye energi kreves for å drifte en badstue, og hvilke tiltak gir en best mulig energieffektiv badstumodell?

1.3 Begrensninger og avklaringer

I denne oppgaven blir målingene og beregningene konsentrert til én badstue, den finske saunaen i Spektrum Velvære. Dette er spesielt på grunn av tidsperspektivet på oppgaven. Bakgrunnen for at den det finske saunaen undersøkes, er at der er denne badstuen som holder høyest temperatur, og er den mest vanlige badstuen i idrettsanlegg i Norge. På grunn av Covid-19 situasjonen ble det begrenset hvor mye logging av energibruk som var mulig å gjennomføre, da Spektrum Velvære var nedstengt store deler av våren 2021.

1.4 Bodø Spektrum

Bodø Spektrum er et innholdsrikt idrett-, kultur- og opplevelsessenter. Spektrum består av to flerbrukshaller og et badeland. Flerbrukshallene er tilrettelagt for idrett, konserter, messer og andre arrangementer(Spektrum, 2017a).



Bilde 1 Bodø Spektrum fra fugleperspektiv

Nordlandsbadet er et moderne badeland med egen Sap og velvære avdeling, som heter Spektrum Velvære.

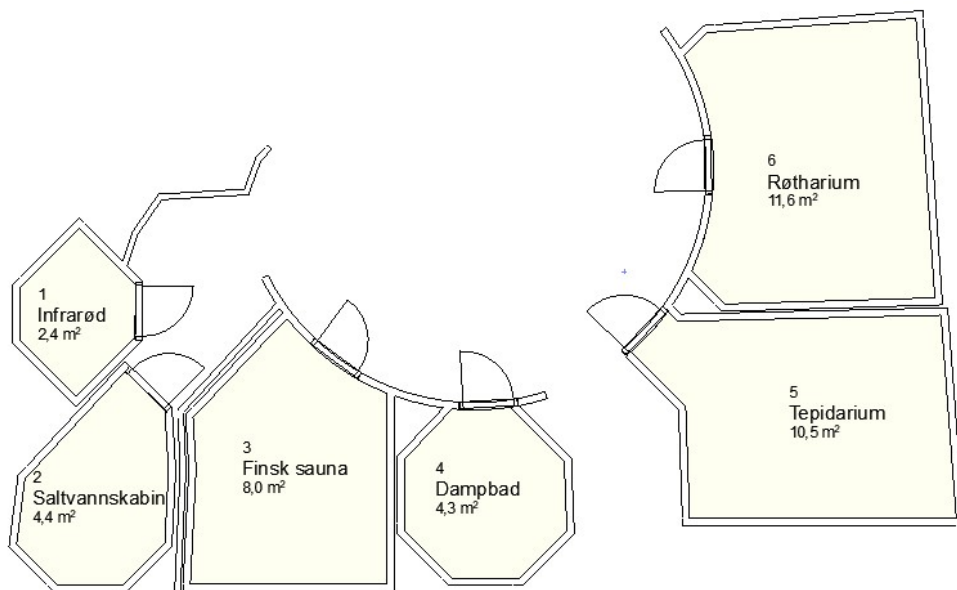
1.5 Spektrum Velvære

Spektrum velvære er en avdeling som tilbyr avslappende atmosfære, med flere forskjellige badstuer, aromadusj og inne- og utendørs boblebad(Spektrum, 2017b). Velværeavdelingen har en aldersgrense på 18 år. Det selges alkoholdige drikker mandag til lørdag, men søndagene er alkoholfri som reduserer aldersgrensen til 16 år på disse dagene. Anlegget har en kapasitet på 60 personer, men under bacheloroppgaven var kapasiteten kun 30 personer på grunn av Covid-19.

2 Badstuene i Spektrum Velvære

2.1 Utforming

Badstuene er bygd rundt en sirkel som vist på bilde 7, hvor sirkelen er et åpent landskap med dusjer og andre fasiliteter. Totalt er det seks badstuer av ulike typer. Hver enkelt badstue er frittstående moduler som er uavhengige av hverandre. Det er kun en liten luftflomme som skiller de.



Bilde 2 Skisse av utforming til badstuene i Spektrum Velvære

2.2 Drift

Velværeaavdelingen har åpent mandag til søndag. Åpningstidene varierer fra dag til dag, men i løpet av en normal ukes drift, har anlegget åpent i 50 timer. De ansatte slår på badstuene manuelt rundt en time, til en halv time før avdelingen åpner. Badstuene slås også av manuelt når dagen er over. Det vil si at badstuene driftes 57 timer i snitt en normal uke.

2.3 Oppvarming

Til oppvarming brukes elektrisitet av flere varianter, alt etter hvilken funksjon badstuen har. Damp- og saltvannskabin har dampgenerator til å varme opp rommene. Denne driftes av elektrisk energi. I tillegg har de to badstuene fjernvarme som varmer opp sittebenkene. De resterende badstuene har ren elektriske oppvarming, med en til to varmekilder per badstue.

2.4 Ulike typer badstuer

2.4.1 Infrarød

Den infrarøde badstuen varmes opp av to lyspærer med infrarødt lys, og sju varmeelement i veggene. Badstuen har en egen kurs på 16 A. Varmeelementene er bygd inn med spiler, slik det er mulig å sitte inntil (vist på bilde 1). Dette er en tørr og lavtemperatur badstue, og oppholdstiden her kan være lang. Badstuen har flislagt gulv med treverk i benker og vegger, og det er en glassdør som benyttes til inn/utgang. Badstuen er på om lag 2,4 kvadrat meter og er ment for tre til fire personer. Isolasjonsmengden i vegg og tak er 50mm mineralull.



Bilde 3 Foto av den Infrarøde

2.4.2 Saltvannskabin

Saltvannskabin er en badstue med høy luftfuktighet og relativt lav temperatur, på rundt 40 grader celsius. Det er lagt opp til lang oppholdstid, på om lag 30 minutter. Badstuen har oppvarmede benker og varme i veggene, som kommer fra fjernvarmeanlegget. I tillegg har den en egen dampgenerator som tilfører damp med saltinnhold. Generatoren har en effekt på 12kw, og en egen kurs på 25 A. Badstuen har flislagt gulv, benker og vegger. Bilde 2 viser hvordan denne utformingen er. Som adkomst benyttes en glassdør. Størrelsen på badstuen er 4,4 kvadratmeter og passer for 3-4 personer. Taket er laget av glassfiber hvor det er lagt inn belysning, såkalt



Bilde 4 Foto av Saltvannskabinen i Velværeavdelingen.

stjernehimmel. Denne består av mange små hull som går rett ut i det tekniske rommet. Det er ikke isolasjon i taket, men 50mm mineralull i veggene.

2.4.3 Finsk Sauna

Finsk Sauna er den «tradisjonelle» badstuen. Her er temperaturen mellom 75-80 grader celsius. Luftfuktigheten reguleres av brukeren ved å helle vann direkte på ovnen. Den reelle fuktigheten vil derfor variere. Til oppvarming er det en elektrisk badstuovn med stein oppi. Ovnene har en kapasitet på 16 kW, og en egen kurs på 25 A.

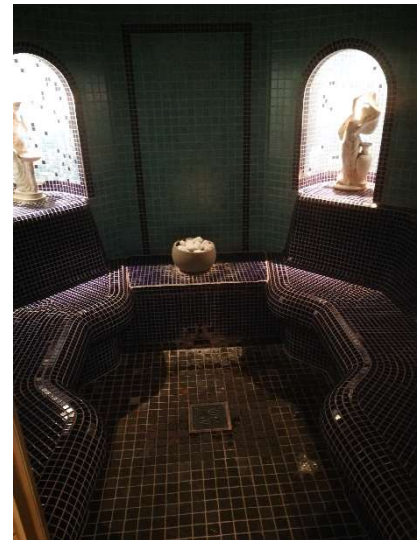
Oppbyggingen er tradisjonell, med flislagt gulv, trebenker og panelkledning i både vegger og tak. Badstuen er på 10 kvadratmeter, og rommer 8-10 personer. Anbefalt oppholdstid er 15 minutter etterfulgt av en kald dusj. Dette gjøres flere ganger, og det kan bli stor trafikk inn og ut av badstuen. Vegg og tak har 50mm mineralull til isolasjon. I likhet med de andre badstuene har den finske saunaen en glassdør til inngang.



Bilde 5 Foto av Finsk Sauna i Spektrum Velvære

2.4.4 Dampbad

Dampbadstuen er en badstue som har høy luftfuktighet, helt opp mot 100 %. Temperaturen ligger på rundt 45 grader celsius. Til oppvarming er det varme i benkene, i tillegg til dampen som blir tilført langs gulvet. I likhet med saltvannskabin er det fjernvarmeanleggs som sørger for varme i benker og vegg. Badstuen har en egen dampgenerator som går på elektrisitet, med en effekt på 9 kW, og drives av en egen kurs på 16A. Hele badstuen er flislagt, gulv, vegger og tak. Det er en glassdør som benyttes som adkomst. Badstuen rommer 4-5 personer og er på 4,3 kvadratmeter. Denne badstuen har heller ikke isolasjon i taket, men 50mm i veggene.



Bilde 6 Foto av Dampbad i Velvære

2.4.5 Tepidarium

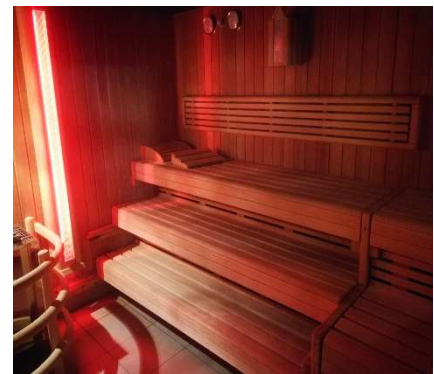
Denne badstuen variere lysbildet hvert 5. minutt mellom fire fargenyanser. Det holder en temperatur på 50 grader celsius og har høy luftfuktighet. Tepidarium varmes opp av en elektrisk ovn og en dampgenerator. Generatoren og ovnen har egne kurs på 16A. Badstuemodulen er isolert med 50mm mineralull. Anbefalt oppholdstid er 20 min, slik at en oppnår effekten av alle fargene. Badstuen har en størrelse på 10,5 kvadratmeter og har en kapasitet på 8-10 personer. Oppbyggingen er flislagt gulv med trebenker og panel i vegg og tak.



Bilde 7 Foto av Tepidarium ved Velvære

2.4.6 Røtharium

Røtharium er en tørr og temperert badstue som holder 50 grader celsius. Her er det både musikk og skiftende lyssetning i spektralfarger. Luftfuktigheten ligger mellom 45-50 %, som gjør at oppholdstiden kan være lang. Midt i rommet står det plassert en badstueovn som varmer opp badstuen, men en effekt på 10,5 kW. Det er tre benker på hver side av ovnen, og badstuen rommer 10-12 personer. Dette er den største badstuen på avdelingen, med et areal på 11,6 kvadratmeter. Videre har den lik oppbygging som flere av badstuene, med flislagt gulv og panel i vegger og tak.



Bilde 8 foto av Røtharium i Spektrum

2.5 Bygningsfysikk

Varmeisoleringen er stort sett lik på de forskjellige badstuene. De to badstuene som har dampfunksjon; dampbad og saltvannskabin, er likt oppbygd. Begge modulene er laget av glasfiber i gulv, vegg og tak. Glasfiberen fungerer som en fuksikring mot vanndamp. Isolasjonen i veggene består av 50mm mineralull, mens taket er uten isolasjon. De tre andre badstuene; Finsk Sauna, Tepidarium og Røtharium har samme bygningsfysikk. De er isolert med 50mm mineralull i vegger og tak.

2.6 Styring og regulering

Hver enkelt badstue styres og reguleres separat. De ansatte må manuelt skru på og stenge hver enkelt badstue. Når badstuene er i drift reguleres de individuelt av termostater i hvert rom, alt etter hvilken temperatur badstuen skal holde.

3 Teori

3.1 Regelverk

I Norge har vi lover, bestemmelser og forskrifter som en må ta hensyn til ved utførelse og planlegging av byggearbeid (Byggforskserien, 2016a). En forskrift gir utfyllende detaljerte bestemmelser til en lov. Forskriften kan vedtas av regjeringen.

3.1.1 TEK17

TEK17 er en forskrift om tekniske krav til byggverk, og minimumegenskaper til ulikt materiale som skal benyttes i byggverk for å kunne oppføres lovlig i Norge (Leksikon, 2018). Forskriften redegjør for hvilket krav til gjennomføring som er gyldig etter plan- og bygningsloven, for å ivareta hensynet til energi, helse, miljø og sikkerhet.

3.1.2 Energikrav TEK17

Bygninger skal prosjekteres og utføres slik at det tilrettelegges for et forsvarlig energibruk (Byggforskserien, 2016b). Tabellen nedenfor gir en oversikt over energikrav til ulike komponenter ved bygging.

Krav	
U-verdi, yttervegg ²⁾	Maks 0,22 $-W/(m^2K)$
U-verdi, tak ²⁾	Maks 0,18 $W/(m^2K)$
U-verdi, gulv på grunnen og mot det fri ²⁾	Maks 0,18 $W/(m^2K)$
U-verdi, glass/vinduer/dører ²⁾	Maks 1,2 $W/(m^2K)$
Lekkasjetall	Maks 1,5 luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell
Isolering av rør, utstyr og kanaler knyttet til bygningens varme- og distribusjonssystem, inkludert tappevann	Isoleres for å hindre unødig varmetap. Isolasjonstykkelsen skal være økonomisk optimalt beregnet.

Tabell 1, en oversikt over energikravene til forskjellige komponenter

3.1.3 Krav til Badstue

I forskriften TEK17 stilles det ingen energikrav krav til badstuer. Det er heller ingen krav til komponentene som skal benyttes til en badstue, som for eksempel mengde isolasjon og u-verdi på dør/vindu. I Byggforskserien er det kun anbefalinger knyttet til utforming og plassbehov. Dette illustreres med følgende sitat fra Byggforskserien: «*Yttervegg i badstue kan ha vindu. Vinduet bør være lite, ellers må man velge en badstuovn med vesentlig høyere effekt*»(Byggforskserien, 2000).

3.2 Energi

3.2.1 Effekt

Effekt er definert som utført arbeid per tidsenhet. I SI-systemet er måleenheten for effekt watt, mens for arbeid er enheten joule. Det vil si at en joule per sekund er det samme som en watt, $W = \frac{J}{s}$. Normalt brukes uttrykket kilowatt (kW), som betyr 1000 watt (Leksikon, 2019).

3.2.2 Elektrisk energi

Elektrisk energi er en energiform som kommer av elektriske krefter. Det som kjennetegner elektrisk energi er at den ikke kan lagres, den må brukes i samme øyeblikk som den blir produsert. Skal den lagres må den omformes til andre energiformer, eksempelvis kjemisk energi i et batteri. I tillegg finnes ikke elektrisk energi i naturen som en energiressurs, den må produseres. Måleenheten for elektrisk energi er SI-enheten Wattsekund (Ws), eller den enheten som er mest kjent, Kilowatttime (kWh). kWh er ikke en SI-enhet, men benyttes for å unngå store tall. $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ Ws}$.

3.2.3 Elektrisk oppvarming

Elektrisk oppvarming er omforming av elektrisk energi til varme. Det betyr at jo mer energi som tilføres, jo mer varme. I badstuer er det i dag mest vanlig å bruke elektrisk oppvarming. Oftest er det ovner som trekker mye elektrisk energi.

3.3 Isolering

3.3.1 Isoleringsevne

For at en bygningskomponent skal holde på, eller utestenge temperatur, er den avhengig av god isolasjonsevne. For å oppnå en god isolasjonsevne er det flere faktorer som har betydning; fukt, lufttetting og valg av isolasjonsmaterialer. Hvis det kommer fukt inn i isolasjonsmaterialet reduseres isolasjonsevnen. Det samme gjelder lufttetting. Dersom det er luftlekkasjer føres kald luft og fuktighet inn i konstruksjon og isolasjonsevnen reduseres. En bygningskomponent med høy isolasjonsevne har et materiale som er tørt, befinner seg i stillestående luft, og har høy varmemotstand (R).

3.3.2 Etterisolering

Ved uttrykket etterisolering menes å isolere konstruksjon ytterlige. Dette forbedrer den nåværende isoleringsevne til bygnings-komponenten. Tiltaket gjøres ofte på bygninger som er gamle og ikke oppfyller dagens krav og behov.

3.4 Luft

3.4.1 Luftfuktighet

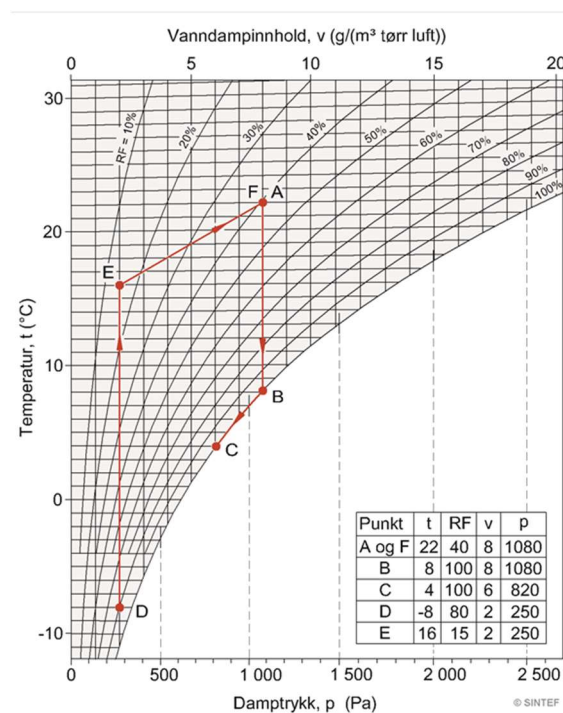
All luft har et fuktinnhold som påvirker bygningsmaterialenes egenskaper, levetid og innendørs klima (Edvartsen og Ramstad, 2017).

Spesielt trevirke påvirkes av forskjellige

damptrykk på hver side av konstruksjonen.

Dette gir en drivkraft for vanndamptransport, og kan føre til kondens inne i konstruksjonen. Fukt er en medvirkende årsak for at det dannes sopp og råte i en konstruksjon.

Luften har alltid fuktighet i form av usynlig vanndamp. Fuktinnholdet er sterkt avhengig av temperaturen. Ved enhver temperatur er det en øvre grense for hvor mye vanndamp luften kan inneholde. Temperaturen ved metning kalles duggpunktet, og duggpunktet øker når



Graf 1 Luftfuktighetsdiagram viser sammenheng mellom temperatur, RF, vanndampinnhold og damptrykk

temperaturen øker. Videre holder varm luft på mer vanndamp enn kald luft. Fuktinholdet i luft angis ofte som RF (relativ fuktighet). Det uttrykker vanninnholdet i prosent av meningsinnholdet ved den aktuelle temperaturen.

Graf 1 viser eksempel på duggpunktet ved forskjellige temperaturer. I punkt A er fuktinnholdet 40%, og har en temperatur på 22 grader, men bare med å senke temperaturen til punkt B, når en duggpunktet ved 8 grader.

3.4.2 **Luftlekkasje**

Luft som strømmer gjennom utettheter i klimaskallet kalles luftlekkasje. Det oppstår når det er forskjell i lufttrykket mellom utsiden og innsiden av en bygningsdel. Hvis det er overtrykk inne, strømmer luft ut, og motsatt ved undertrykk. I praksis opptrer utettheter oftest ved dører, vinduer og ved overganger mellom bygningsdeler. Trykkforskjell skapes av temperaturforskjeller (Edvartsen og Ramstad, 2017).

Når luft strømmer inn og ut gjennom bygningsdeler som en følge av luftlekkasje, bidrar dette til et økt energiforbruk. Dette skyldes at kald luft som kommer inn, kjøler ned, og må varmes opp igjen. Det vil si at utette rom vil bruke mye mer energi enn et tett rom, og jo større temperaturforskjellen mellom bygningsdelene er, desto mere energi går tapt. Luftlekkasje er ofte et problem når det kommer til fuktskader. Dette fordi varm luft trenger ut i konstruksjonen og blir kjølt ned, som videre fører til at luften slipper fuktighet.

3.5 **Varme**

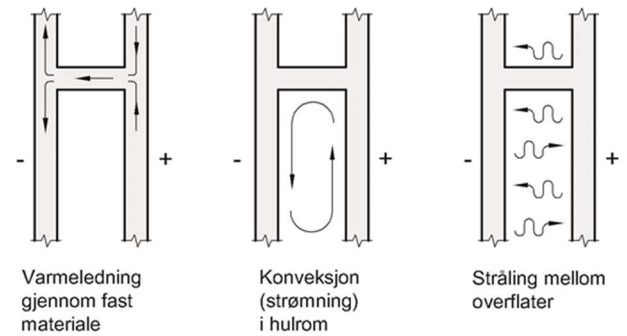
3.5.1 **Varmeteknisk**

Varme er en form for bevegelsesenergi (Edvartsen og Ramstad, 2017). Alle stoffer er bygd opp av molekyler eller atomer, som vibrerer eller svinger avhengig av temperaturen til stoffet. Et stoff med kraftige svingninger har høyt varmeinnhold og høy temperatur. Det vil si at når et stoff avgir varme, dempes svingningene. Ved det absolutte nullpunkt (-273°C), er atomene og molekylene helt i ro, og inneholder ingen varmeenergi.

Normalt i Norge bruker vi Celsiusgrader ($^{\circ}\text{C}$) for å måle temperaturen. I vitenskapelig sammenheng brukes Kelvin (K). Temperaturforskjellen på 1°C er den samme som temperaturforskjellen på 1 K. Varmemengde eller varmeenergi måles i Joule (J). 1 J tilsvarer 1 Watt sekund (Ws), Mest brukt er derimot Kilo Watt time (KWh) som er $3,6 \times 10^6$ J. Varmestrøm måles i Watt (W), som da er lik Joule per sekund (J/s).

3.5.2 Varmetransport

Varmetransport oppstår når materialer eller en konstruksjon har temperaturforskjeller (Edvartsen og Ramstad, 2017). En varmetransport skjer fra varmt materiale i en retning mot områder med lavere temperatur. Vi har tre transportformer som hovedsakelig skjer i byggningskonstruksjoner, ofte som en kombinasjon. Bilde 6 illustrerer de tre transportformene kan forekomme i et materiale.



Bilde 9 Illustrerer former for varmetransport

3.5.3 Varmekonduktivitet

For den totale varmetransporten i et materiale, brukes samlebegrepet varmekonduktivitet. Definisjon er varmestrømmen som går gjennom et tverrsnitt på 1 m^2 av et homogent materiale med tykkelse på 1m, og temperaturforskjell på 1 K.(Edvartsen og Ramstad, 2017). Varmekonduktiviteten angis som W/mK og bestemmes ved prøving etter standardisert metode.

3.5.4 Varmemotstand (R) og U-verdi

R, som er betegnelsen på varmemotstand brukes for å angi størrelsen på varmetapet gjennom en konstruksjon. Tykkelsen og materialets varmekonduktivitet spiller inn på varmemotstanden materialet har. For et homogent materialsjikt beregnes varmemotstanden med:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

hvor

d = materialsjiktets tykkelse i meter

λ = materialets dimensjonerende varmekonduktivitet (W/mK)

U-verdi er en betegnelse i bygningsindustrien som angir bygningsdelens varmeisolerende evne (Byggforskserien, 2020). U-verdien angir den mengde varme som filtreres ut av en konstruksjon på en kvadratmeter når temperaturforskjellen er 1 K (eller 1 grad celsius) mellom konstruksjonens to sider. Måle-enheten for U-verdi er W/m^2K , som er Watt over kvadratmeter multiplisert med Kelvin.

For å regne ut U-verdi legger en sammen varmemotstanden (R) i konstruksjonen, og setter den inn i en brøk: $\frac{1}{R}$. Det resulterer i at jo høyere varmemotstanden er, desto lavere blir U-verdien. Altså en høy U-verdi gir stor varmeledning og har dårlig isoleringsevne. Så jo lavere u-verdi konstruksjon har, desto bedre isoleringsevne har den.

3.5.5 Varmetap

For å beregne varmetapet gjennom en bygningsdel, benyttes U-verdien til i bygningsdelen. Ved konstant temperaturforskjell regnes den samlede varmemengden som går gjennom bygningsdelen på tiden h (timer) med en formel:

$$\text{Varmemengde} = U * A * (Tv - Tk) * h$$

hvor:

U = U-verdi

A = Arealet til bygningsdelen i m^2

Tv = temperatur varm side

Tk = Temperatur kald side

H = timer

Formelen regner ut hvor mange watt som forsvinner gjennom bygningsdelen. Men i virkeligheten er det aldri samme temperaturforskjell over en tidsperiode. Derfor brukes dataprogrammer for å simulere et mere nøyaktig varmetap.

4 Metode

Dette kapittelet gir en beskrivelse av hvilke forskningsmetoder som er benyttet for å innhente datagrunnlag for gjennomførte undersøkelser. Det gjøres også vurderinger knyttet til dataens gyldighet og pålitelighet.

4.1 Innhenting av data

4.1.1 Flir One Pro

Flir One Pro er et termisk kamera som kobles på mobiltelefonen, som gjør det mulig å ta termografibilder med mobiltelefonen (Flir, 2021). Kameraet er brukt på Spektrum Velvære for å finne «usynlig» problemer, samt finne temperaturer på objekter. Termografi fanger opp energi i form av stråling fra objekter. Desto mer energi, jo mer stråling fanger kameraet opp, og beregner ut en temperatur.



Bilde 10 Illustrasjon av Flir One Pro

4.1.2 ELITEpro XC™



Bilde 11 Elitepro under logging

Elitepro er en bærbar energilogger. Den monteres direkte på en kurs i tavlerommet, for å måle, lagre og analysere energi (Dent, 2021). I begynnelsen av 2021 ble det montert opp to ELITEpro XC™ på tavlerommet til Velværeavdelingen. Monteringen ble gjort med hjelp fra elektriker og vaktmester Tom Erik Bjørnsen ved Nordlandsbadet. Måleinstrumentene logget energibruket til den finske badstuen i perioden 22.01.2021-04.02.2021 (14 dager). Under perioden datainnsamlingen pågikk har Spektrum Velvære vært stengt på grunn av Covid-19. Dette har gjort at det

ikke har vært mulig å gjennomføre målinger utover nevnte tidsrom.

Til transformering av data fra Elitepro er programmet Elog15 benyttet. Videre analyse av tallene, samt utarbeidelse av tabeller og grafer er gjennomført ved bruk av Excel.

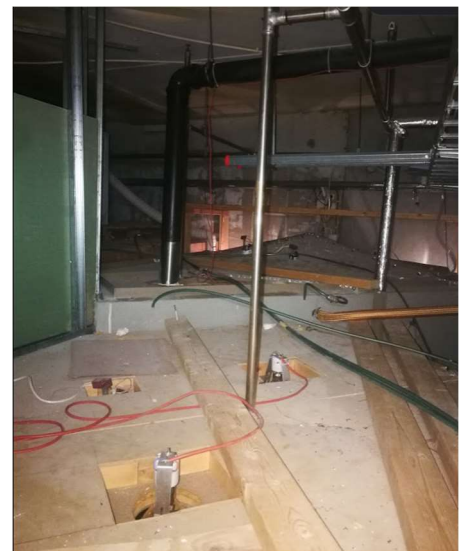
For å sikre påliteligheten av gjennomførte målinger er det utført en etterkontroll av innsamlet data. Effekten på badstuovnen er oppgitt til å være 16 kW. Det er kontrollert at målingene samsvarer med ovnens oppgitte effekt. Dette underbygger dataens gyldighet og pålitelighet.

4.1.3 Besøkstall

Under måling av energiforbruket i badstuene ble det også logget antall besøkende som befant seg i velværeavdelen per dag. Dette registreres når besøkende kjøper inngangsbillett til avdelingen. Det har ikke vært mulig å registrere hvor mange som har gått inn og ut av badstuen. For å få et bilde på energibruk sett opp mot antall besøkende er det derfor vurdert hensiktsmessig å benytte gjennomsnittlig antall besøkende i velværeavdelen per dag.

4.1.4 Befaring

Det har vært gjennomført flere befaringer for å kartlegge bygningsfysikken til de ulike badstuene. Alle badstumodulene står i et «teknisk» rom, slik at en kan inspisere ytterfasaden til modulene. Modulene står tett og har kun en luftspalte mellom seg, og dette gjør at en ikke kommer til alle fasadene. Det er tilgang til taket av badstuen, og dette er befart. Se bilde 12.



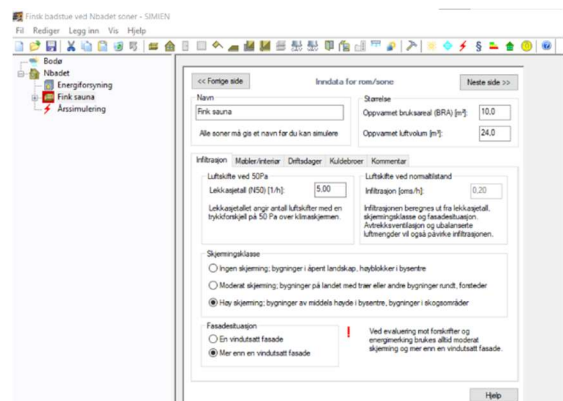
Bilde 12 Tatt under befaring, viser teknisk rom

4.2 Simien

Simien er et norsk utviklet energiberegningsprogram.

Programmet simulerer energibehov og kan brukes til å evaluere bygninger opp mot energikravene (Programbyggerne, 2016).

I oppgaven har jeg laget en modell i Simien, som skal simulere den finske saunaen ved Spektrum Velvære. Programmeringen av modellen er gjennomført i samarbeid med Programbyggerne som er skaperen bak Simien. Modellen tar for seg den finske saunaen som står plassert i det tekniske rommet med de andre badstuene rundt.



Bilde 13 Viser hvordan programmet ser ut

Simuleringen tar ikke hensyn til uteomgivelsene, men holder en jevn temperatur året rundt i rommet badstumodulen er plassert.

Det er gjennomført simuleringer av nåværende situasjon, samt av situasjoner der det gjennomføres ulike endringer i badstuens bygningsfysikk. Ved simuleringen av nåværende situasjon måles energibruken i badstuen til omtrent den samme som ble målt av loggeren Elitepro. Dette er med på å underbygge påliteligheten av modellen.

I Simien-modellen er det kun mulig å gjennomføre simuleringer av ulik bygningsfysikk. Modellen vil ikke ta høyde for eventuelle andre effekter og utfordringer som kan oppstå i de ulike scenarioene.

5 Resultater

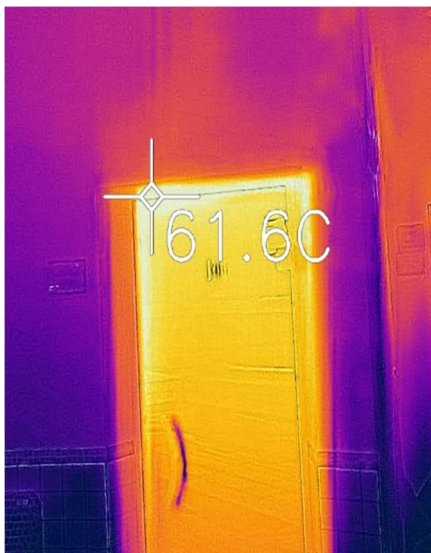
I dette kapittelet presenteres resultatene av gjennomførte undersøkelser. Først kartlegges badstuen ved bruk av termisk kamera og befaringer. Videre presenteres målinger gjort med ElitePro. Til slutt ses det nærmere på simuleringer av badstuen gjennomført ved bruk av Simien.

5.1 Termografering

Termografering er benyttet for å avlese temperatur på de ulike overflatene i badstuen. Dette er gjennomført med et termisk kamera. Fargeskalaen på bildene går fra sort, som betegner lav temperatur, til hvitt, som betegner høy temperatur. Når bildene ble tatt hadde badstuen stått på i 8 timer, og ingen personer befant seg i badstuen.

5.1.1 Glassdør

Inngangen til badstuen er en glassdør, med ett lags glass. Bildene viser temperaturen på glassdøren sett fra utsiden. Det er stor temperaturforskjell på døren. Nederst på døren er det 40 grader celsius, og i toppen er temperaturen over 60 grader celsius. Dette gir en stor temperaturforskjell mellom de ulike stedene på døren. Bildet viser også at varmetransporten ståler ut fra badstuen mot områder med lavere temperatur.



Bilde 15 termisk bilde av glassdøren til Finsk sauna, tatt fra utsiden



Bilde 14 termisk bilde av glassdøren til Finsk sauna, tatt fra utsiden

Det har ikke vært mulig å få oppgitt U-verdi på døren, eller ytterligere informasjon om dørens glasstype. For å finne et rimelig nivå på dørens U-verdi er det derfor gjort matematiske

beregninger. Disse er gjennomført for et homogent glass med en gitt varmekonduktivitet. Først er det funnet en dimensjonerende varmemotstand (R).

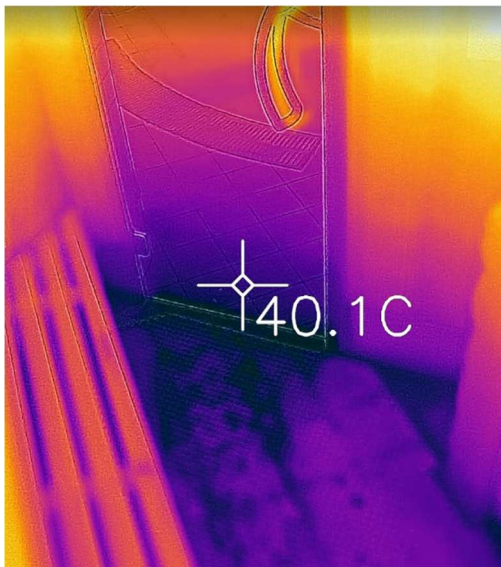
Glass har en varmekonduktivitet (λ) som ligger mellom 0,6 -1,0 w/mK (Leksikon, 2020). I beregningen benyttes en λ -verdi på 0,6. Materielats tykkelse (d) er satt til 0,02m.

$$R = \frac{0,02}{0,6} = 0,033 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{0,033} = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Det er beregnet en rimelig U-verdi på badstuens glassdør på $30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Sett opp imot kravet til U-verdi på en ytterdør i TEK17, som ligger på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, har glassdøren en svært dårlig varmeisoleringssevne.

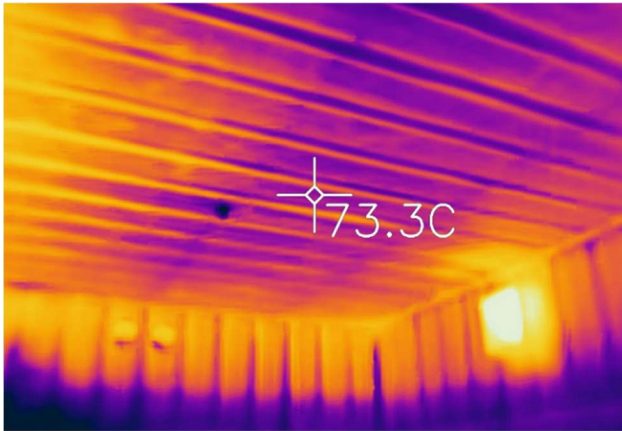


Bilde 16 termisk bilde av glassdøren til Finsk sauna, tatt fra innsiden

Bildene tatt av dørens innside viser samme resultater som bildene av dørens utside. En ser tydelig at kulden trekker inn langs gulvet og sprer seg ut i badstuen. Når temperaturen er nesten identisk uavhengig av hvilken side av døren en står på, viser dette en høy U-verdi, og et stort varmetap.

5.1.2 Innvendige bilder

Bildene tatt innvendig i badstuen viser en stor variasjon i rommet med tanke på temperatur.



Bilde 18 Termisk bilde av taket på innsiden i finsk sauna



Bilde 17 termisk bilde av øverste benk i badstuen

Varmest er det over ovnen, litt over 80 grader. Rundt 50cm ned fra taket går det et skille, som er 10 grader kaldere enn taket. Herfra og ned mot gulvet, går temperaturen gradvis ned til 40 grader ved gulvet. Altså en temperaturforskjell på over 40 grader. Bildene viser også at et parti midt i taket har lavere temperatur enn resten. Dette skyldes at temperaturen faller med avstanden fra ovnen.

Under den øverste benken er temperaturen ned mot 45 grader. At temperaturen er lavere her skyldes at det den kalde temperaturen fra gulvet trekker opp under benken. Den mørke flekken på bilde 18 er et tydelig avtrykk av en som nettopp har sittet i badstuen. Dette viser at materialet en person har sittet på avkjøles.

5.1.3 Utvendige bilder

Det er her tatt bilder av badstuens utside. Ytterfasaden til badstuen befinner seg i et teknisk rom, som en kan befare. Ettersom badstumodulene står tett, er det kun taket det er mulig å ta gode bilder av.



Bilde 20 Termisk bilde av taket til finsk sauna fra utsiden



Bilde 19 vanlig fot av taket i badstuen, fra utsiden

Taket og veggene er bygd opp med bindingsverk i tre, og isolert med 50mm mineralull. Ytterst er de kledd igjen med sponplater. På grunn av bindingsverket er det ikke sammenhengende isolasjon. Dette ser man tydelig av bildene, der temperaturen er vesentlig høyere på treverket enn på plassene med sammenhengende isolasjon. Punktene med treverk øker energitapet, og varmetransporten blir større. Sammenligner vi bilde 18 og 20, ser vi at temperaturforskjellen mellom innsiden og utsiden av badstuens tak ligger rundt 30 grader.

Bilde 21 viser punktet på taket hvor der er størst temperatur, og også der varmetapet vil være størst. Dette punktet befinner seg over der badstuens ovn er plassert, som også er innsidens varmeste punkt.



Bilde 21 Termisk bilde av taket rett over badstuoovnen fra utsiden

5.2 Elite pro

I perioden 22. januar til 4. februar ble det gjennomført målinger av strømforbruket til den finske saunaen.

5.2.1 Rutiner

Tabell 2 og 3 viser en oversikt over hvor lang tid det tar å varme opp badstuen til driftstemperatur (80 °C), og gjennomsnittlig oppvarmingsprosess ligger på rundt 50 minutter. Tabellene tar også for seg hvor mange minutter badstuen holder 80 °C før åpningstid, som i snitt er ca. 40 minutter per dag. Årsaken til at badstuen er ferdig oppvarmet lenge før åpningstid er at badstuen styres manuelt av de ansatte på avdelingen, og tidspunktet for når badstuen skrus på varierer.

De nevnte 40 minuttene vil på årlig basis utgjøre 243 timer der badstuen har oppnådd 80 grader uten at den har vært åpen for besøkende. Dette tilsvarer like mange timer som en måned drift av badstuen.

	Fre	Lør	Søn	Man	Tir	Ons	Tor
	22.jan	23.jan	24.jan	25.jan	26.jan	27.jan	28.jan
Åpningstid	kl 12-22	kl 12-20	kl 12-18	kl 15-21	kl 12-21	kl 15-21	kl 15-22
Påslått	Kl 12:18	Kl 10:45	Kl 10:45	Kl 13:23	Kl 10:24	Kl 13:23	Kl 14:06
Påslått før åpningstid	-18 min*	75 min	75 min	97 min	96 min	97 min	54 min
Tid å oppnå driftstemp	54 min	51 min	50 min	59 min	49 min	48 min	51 min
Differanse	-72 min	24 min	25 min	38 min	47 min	49 min	3 min
Avslått	Kl 21:00	Kl 19:13	Kl 17:08	Kl 20:12	Kl 20:03	Kl 19:50	Kl 19:51
Driftstid (t)	8,7 t	8,5 t	6,6 t	6,2 t	9,7 t	6,5 t	5,8 t
% drift av badstuovn	60 %	64 %	64 %	47 %	50 %	53 %	51 %

Tabell 2 Resultater fra målingene fra Elitepro

* fredag 22. jan ble ikke badstuen påslått før 18 min etter åpningstid, det var på grunn av loggingsutstyret ikke var ferdigkoble kl 12:18

	Fre	Lør	Søn	Man	Tir	Ons	Tor
	29.jan	30.jan	31.jan	01.feb	02.feb	03.feb	04.feb
Åpningstid	kl 12-22	kl 12-20	kl 12-18	kl 15-21	kl 12-21	kl 15-21	kl 15-22
Ovn påslått	kl10:41	kl10:51	Kl 10:39	Kl 13:45	Kl 10:05	Kl 13:25	Kl 12:30
Drift før åpning	79 min	69 min	81 min	75 min	115 min	95 min	150 min
Tid for å oppnå 80°C	51 min	48 min	51 min	54 min	51 min	50 min	47 min
Differanse	28 min	21 min	30 min	21 min	64 min	45 min	103 min
Avslått	Kl 21:00	Kl 19:11	Kl 17:06	Kl 20:08	Kl 20:01	Kl 20:06	Kl 20:09
Driftstid (t)	10,3 t	8,3 t	6,5 t	6,4 t	10 t	6,7 t	7,7 t
% drift av badstuovn	56 %	65 %	76 %	57 %	52 %	50 %	53 %

Tabell 3 Resultater fra målingene fra Elitepro

Åpningstid – Hvilket tidspunkt badstuen er åpen for kunder

Påslått – Hvilket tidspunkt badstuovnen ble påslått

Påslått før åpningstid – Hvor lenge badstuen stod påslått før åpningstiden

Tid å oppnå driftstemp – Hvor lang tid badstuovnen brukte for å nå 80 C^o

Differanse – Hvor mange minutter badstuen holder 80 grader før åpningstid

Avslått – Hvilket tidspunkt badstuen ble slått av

% drift av badstuovn – Hvor mange % av driftstiden badstuovnen var innkoblet

Badstuovnen reguleres av en temperaturregulator, og når rommet oppnår driftstemperatur stenges ovnen automatisk. Samme skjer når temperaturen kommer under akseptabel driftstemperatur slås den på igjen. Resultatet fra loggingen viser at ovnen er påslått mellom 50-60% i driftstiden.

Tabell 4 og 5 viser en oversikt over antall besøkende og hvor mange kWh som benyttes for å drifte badstuen. Gjennom perioden målingene er gjennomført varierer antall besøkende per dag fra litt over 50 til 5 personer, og trafikken er størst i helgene. Antall kWh i døgnet varierer med badstuens driftstid. Tabellen viser også kWh/h, som er et resultat av dagsforbruket (kWh) delt på driftstid.

	Fre	Lør	Søn	Man	Tir	Ons	Tor	
	22.jan	23.jan	24.jan	25.jan	26.jan	27.jan	28.jan	Snitt
Besøkende	44	51	31	11	17	12	9	25
Driftstid (t)	8,7	8,5	6,6	6,2	9,7	6,5	5,8	7,4
KWh	48,4	49,7	38,1	35,2	45,0	33,7	31,1	40,2
KWh/h	5,6	5,8	5,8	5,7	4,6	5,2	5,4	5,4
KWh / person	1,1	1,0	1,2	3,2	2,6	2,8	3,5	2,2

Tabell 4 kWh beregning fra målingene til Elitepro

	Fre	Lør	Søn	Man	Tir T	Ons	Tor	
	29.jan	30.jan	31.jan	01.feb	02.feb	03.feb	04.feb	Snitt
Besøkende	52	50	38	5	23	11	12	27
Driftstid (t)	10,3	8,3	6,5	6,4	9,9	6,7	7,7	8,0
KWh	53,5	48,8	46,7	35,7	48,2	32,1	38,1	43,3
KWh/h	5,2	5,9	7,2	5,6	4,9	4,8	5,0	5,5
KWh / person	1,0	1,0	1,2	7,1	2,1	2,9	3,2	2,7

Tabell 5, kWh beregning fra målingene til Elitepro

Besøkende - Antall personer som var i Spektrum Velvære den dagen.

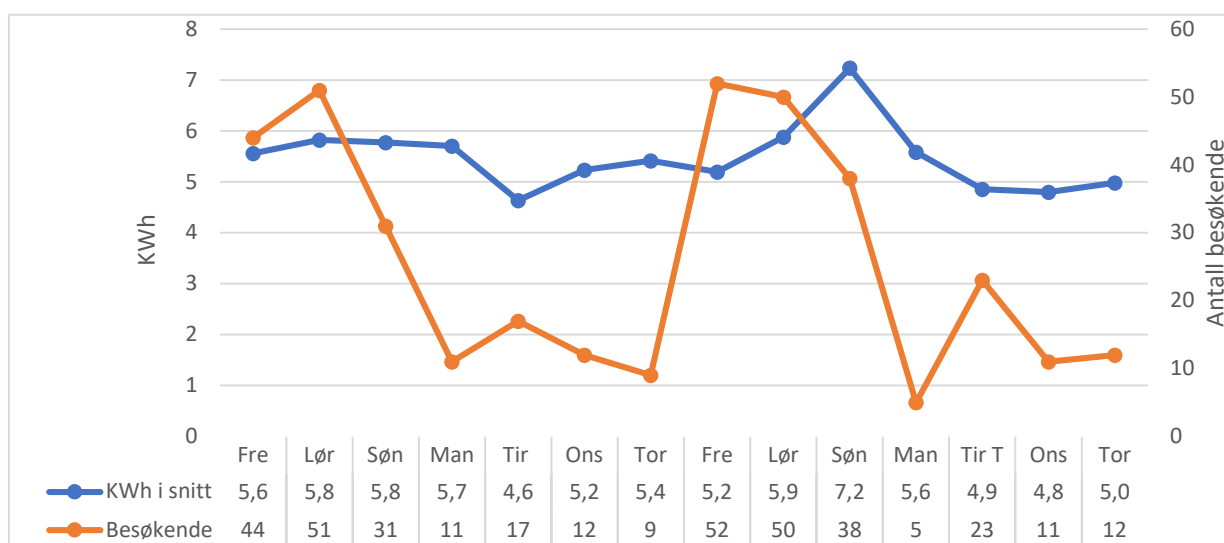
Driftstid - Hvor mange timer badstuen har vært i drift.

KWh - Hvor mange KWh badstuen har brukt i løpet av driftstiden.

KWh/h – Gjennomsnittlig kWh per time driftstid

KWh/person - Antall besøkende delt på forbruket av KWh i driftstiden

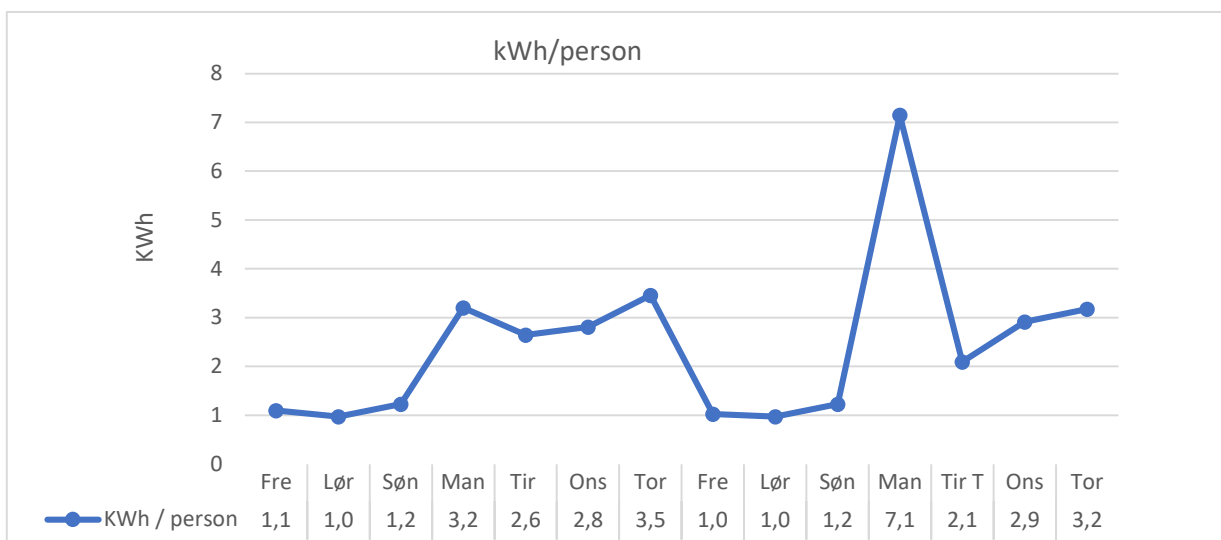
Grafen nedenfor viser energibruket i snitt per dag (kWh/h) sett opp mot antall besøkende.



Graf 2 Antall besøkende og energibruk per dag

Den blå linjen i diagrammet viser energibruket i snitt per time per dag. Den oransje linjen er antall besøkende per dag. Grafen viser at det ikke er en vesentlig sammenheng mellom kWh/h og antall besøkende. Den dagen med mest besøkende er ikke den dagen som har størst energibruk. Dagen med færrest besøkende, er heller ikke dagen med lavest kWh/h.

I tabell 4 og 5 er det også regnet ut hvor mye energi som går per person. Dette er beregnet ved å ta total kWh delt på antall besøkende per dag. Dette illustreres også i grafen nedenfor.



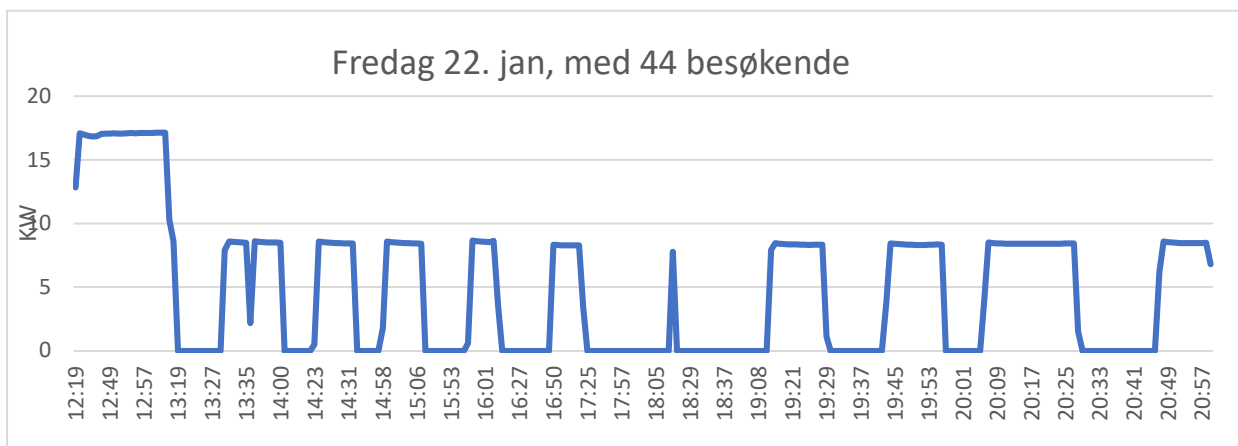
Graf 3 Viser kWh / person fra fredag 22.01-torsdag 04.02

Av grafen ser vi at kWh/person reduseres med økt antall besøkende. For den målte perioden har vi en gjennomsnittlig kWh/person på 2,8.

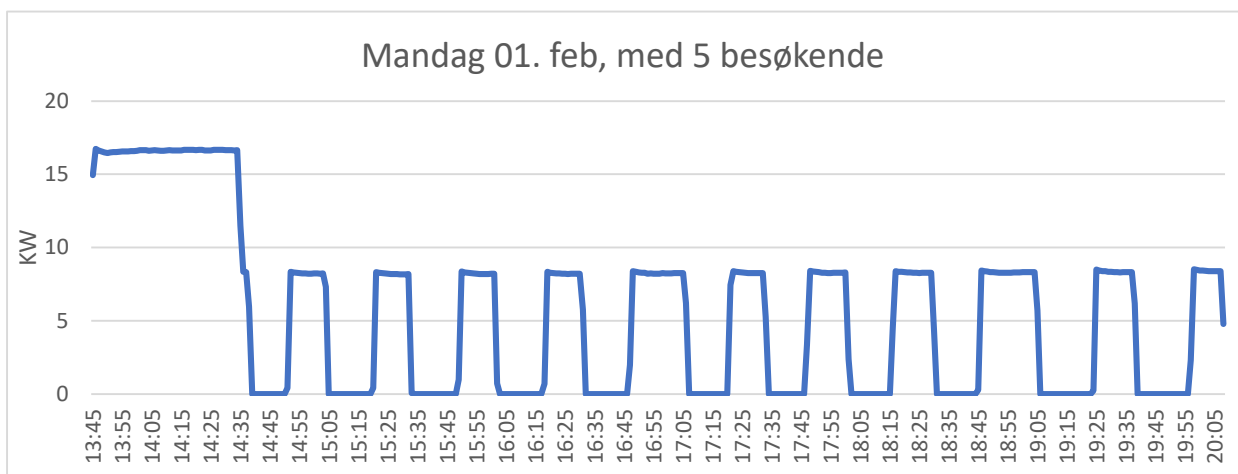
5.2.2 Dagsforbruk

Av gjennomførte målinger ser vi at badstuen har et gjennomsnittlig daglig energibruk på 42 kWh. Når badstuovnen slås på, bruker ovnen sin fulle effekt på 16 kW for å oppnå driftstemperatur på 80 grader. For å opprettholde denne temperaturen gjennom dagen reguleres temperaturen av ovnens regulator. I den forbindelse slås ovnen av og på med en effekt på 8 kW.

I graf 4 er dagsforløpet til badstuovnen framstilt i et linjediagram en dag med 44 besøkende. Den samme framstillingen er gjort i graf 5, med 5 besøkende.



Graf 4 Oversikt over badstuovnens dagsforløp i finsk sauna



Graf 5 Oversikt over badstuovnens dagsforløp i finsk sauna

Av figurene ser man hvordan badstuovnen slår seg på og av i løpet av driftstiden. I graf 5, med 5 beøkende, er syklusen nesten uforstyrret. Ovnens slår her inn 8 kW ca. annen hvert kvarter, altså 15min på og 15min av i løpet av driftstiden.

I graf 4, med 44 besøkende, er ovnens syklus mer påvirket av antall personer som er inne i badstuen. Men energibruket er nesten det samme uavhengige av besøksantallet.

5.3 Simien

I samarbeid med programbyggerne ble det laget en modell i Simien som simulerer den Finske saunaen. Modellen simulerer badstu-modulen på 10 m² som står i et oppvarmet rom som holder konstant temperatur året rundt. Varmekilden er en elektrisk ovn på 16KW. Driftstiden er satt til 7 timer i løpet av et døgn, da dette er gjennomsnittlig daglig åpningstid i løpet av et år. Temperaturen under drift er 80 grader, og 28 grader utenom driftstiden.

Vegger og tak er delt opp med skillekonstruksjoner med forskjellige soner de grenser til, for å oppnå en modell som er mest mulig lik virkeligheten i Spektrum Velvære. To av veggene grenser til dampbadet og saltvannskabinen, så disse sonene holder en høyere temperatur under driften.

5.3.1 Års-simulering

Ved hjelp av Simien ble det kjørt en års-simulering for å finne energibehovet i løpet av et år. Første simuleringen er av dagens modul. Denne har 50mm mineralull i tak og vegg. Simuleringen viser at badstuen behov er 15 757 kWh per år. Under resultatet fra logging av energiforbruk så vi at dagsbruket lå på 42 kWh. Dette kan ganges opp til et årlig forbruk på 15 330 kWh, og viser at faktiske målinger og Simien-modellen samsvarer relativt godt.

For å kartlegge energibehovet ved forskjellige typer isolasjonsmengde i vegger og tak, dører med ulike U-verdier og ved nattsinking av temperatur, er det laget flere ulike simuleringer i Simien. Resultatene av disse presenteres nedenfor.

5.3.2 Isolering av tak

I denne simuleringen er det tatt utgangspunkt i nåværende konstruksjon, og med kun å etterisolere taket. Det ble simulert fem forskjellige tykkelser av isolasjon, fra 50-250mm ekstra

isolasjon. Varmekonduktivitet (λ) på mineralullen er 0,036 W/m²K, og er brukt i alle simuleringene for å regne U-verdien.

Isolasjon mm	U-verdi W/m ² K	Isolere tak KWh år	Differanse KWh år
Nåværende	0,72	15757	
+50	0,36	15571	186
+100	0,24	15510	247
+150	0,18	15480	277
+200	0,14	15460	297
+250	0,12	15450	307

Tabell 6 Resultater fra Simien

Isolasjonsmengden starter på 50mm, som er nåværende situasjon, og avsluttes med en total tykkelse på 300mm mineralull. Kolonne 3 i tabellen viser benyttede kWh per år ved de ulike mengdene mineralull. Av kolonne 4 ser vi at det er relativt liten besparelse på kWh ved kun å øke mengden mineralull i tak.

5.3.3 Isolering av vegger og tak

I denne situasjonen er det gjennomført simuleringer der det legges til isolasjon både i vegger og tak. På grunn av badstuens plassering vil det være svært krevende å øke isolasjonsmengden i veggene. Simuleringen kjøres likevel for å se om det er hensiktsmessig ved en eventuell utbygging.

Isolasjon mm	U-verdi W/m ² K	Energibehov KWh år	Differanse KWh år
Nåværende	0,72	15757	
+50	0,36	14448	1309
+100	0,24	13846	1911
+150	0,18	13502	2255
+200	0,14	13255	2502
+250	0,12	13125	2632

Tabell 7 Resultater fra Simien

Med å etterisolere både tak og vegger med 250mm ekstra isolasjon, er energibehovet redusert til 13 125 kWh i året. Det er en nedgang på 2 632 kWh, som utgjør 16,7% av dagens energibehov.

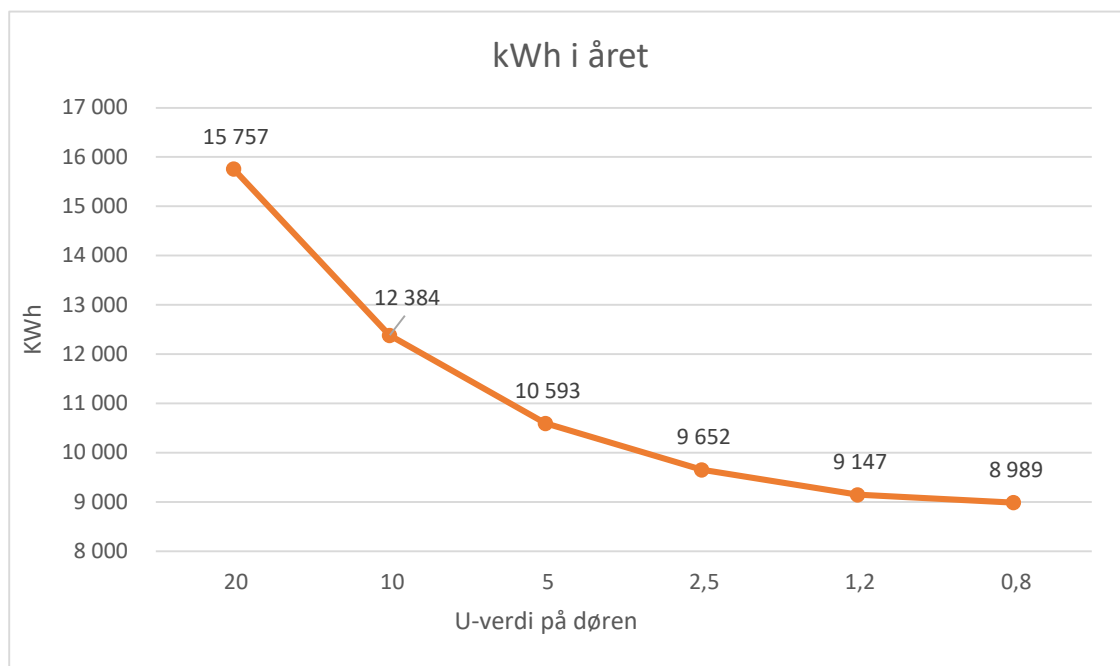
5.3.4 Isolering av dør

Som tidligere nevnt har badstuen en glassdør til inngang. Det ble beregnet en U-verdi på denne på 30 W/m²K. Dette er en beregning basert på matematiske formler, og er dermed ikke 100% nøyaktig. Simien en maksimal U-verdi på 20. For å simulere nåværende situasjon er det derfor vurdert hensiktsmessig å benytte en U-verdi på døren på 20 W/m²K. Det er her simulert flere typer dører med ulik u-verdi, for å se om energibehovet vil påvirkes av å kun å bytte inngangsdøren.

Isolasjon mm	U-verdi W/m ² K	Energibehov kWh år	Differanse kWh år
Nåværende	20	15757	
Dør 1	10	12384	3373
Dør 2	5	10593	5164
Dør 3	2,5	9652	6105
Dør 4	1,2	9147	6610
Dør 5	0,8	8989	6768

Tabell 8 Resultater fra Simien

Resultatet viser at ved å skifte glassdøren blir energibehovet betraktelig mindre. Med å erstatte glasset med en dør som har u-verdi på 0,8 W/m²K, reduseres energibehovet ned til 8 989 kWh i året. Dette er en nedgang på hele 43%.



Graf 6 Framstilling av besparte kWh ved dørbytte

Grafen ovenfor illustrer effektene ved bytte av dør. Grafen har en bratt nedgang i starten, før den jevner seg mer ut ved lavere U-verdier.

5.3.5 Isolering som er aktuelt i Spektrum Velvære

Som nevnt er det utfordrende å legge til isolasjon i veggene på den finske badstuen i Spektrum Velvære. Det er derfor gjennomført simuleringer på det som er mulig å gjennomføre: å skifte dør og å etterisolere tak. Isolasjonsmengden som er med i simuleringen er fra 50mm til 250mm ekstra, og en ny dør med U-verdi på 1,2 W/m²K. Det er benyttet en dør med U-verdi på 1,2 på bakgrunn av at dette er minstekravet til en ytterdør i henhold til TEK17.

Isolasjon mm	U-verdi dør W/m ² K	U-verdi W/m ² K	Energibehov KWh år	Differanse KWh år
Nåværende	20	0,72	15757	
+50	1,2	0,36	8825	6932
+100	1,2	0,24	8719	7038
+150	1,2	0,18	8666	7091
+200	1,2	0,14	8631	7126
+250	1,2	0,12	8613	7144

Tabell 9 Resultater fra Simien

Ifølge beregningene fra Simien vil en kombinasjon av ny dør og 250mm ekstra takisolasjon nesten halvere energibehovet per år.

5.3.6 Isolering av tak, vegg og dør

Det er gjennomført simuleringer hvor isolasjonsmengden i både vegger og tak øker, og man i tillegg bytter ut nåværende glassdør.

Isolasjon mm	U-verdi dør W/m ² K	U-verdi W/m ² K	Energibehov KWh år	Spart KWh/år	kWh spart I prosent
Nåværende	20	0,72	15757		
+50	1,2	0,36	6719	9038	57 %
+100	1,2	0,24	5462	10295	65 %
+150	1,2	0,18	4701	11056	70 %
+200	1,2	0,14	4133	11624	74 %
+250	1,2	0,12	3828	11929	76 %

Tabell 10 Resultater fra Simien

Denne simuleringen viser ytterligere redusert energibehov sammenlignet med tidligere simuleringer.

5.3.7 Nattsinking

Ved dagens rutiner i Spektrum Velvære slår de ansatte av badstuovnen etter stengetid, for så å slå de på igjen før åpningstid. Ovnen i badstuen er derfor helt avslått gjennom natten. Det er gjennomført simuleringer for å se på energibehovet ved å la ovnen stå på gjennom natten, og opprettholde en gitt temperatur.

Denne simuleringen tar for seg ulike natt-temperaturer på ovnen og viser energibehovet i de ulike scenarioene. Den første simuleringen er gjort med nåværende konstruksjon og isolasjonsmengde. Fra tidligere var energibehovet ved å slå av badstuen om natten 15 757 kWh. Tabellen viser ulike scenarioer der ovnen holder fra 80 til 40 grader gjennom natten.

Isolasjon 50mm	Temp gjennom natten Grader celsius	U-verdi W/m ² K	Energibehov kWh/år	Økende KWh/år	Økende kWh/år i %
Nåværende	28	0,72	15757		
	80	0,72	36216	20459	130 %
	70	0,72	31467	15710	100 %
	60	0,72	26720	10963	70 %
	50	0,72	21970	6213	39 %
	40	0,72	17736	1979	13 %

Tabell 11 Resultater fra Simien

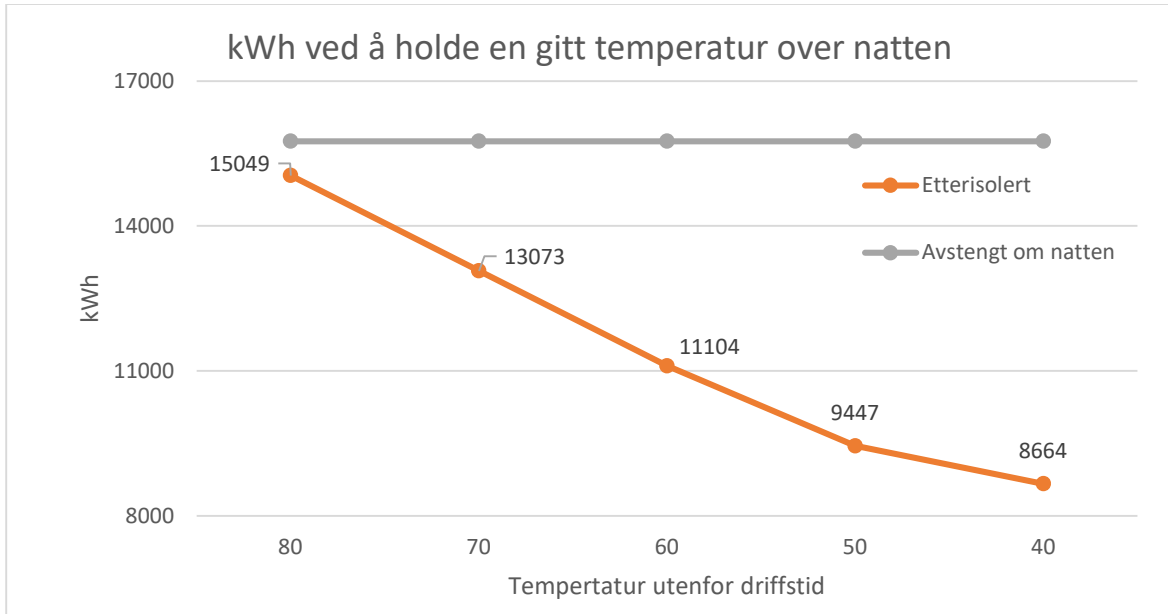
Ved og ikke slå av badstuen om natten, øker energibehovet med 130%. Dersom ovnen holder 40 grader gjennom natten vil energibehovet øke med 12,5%.

Videre er det gjort samme simulering, men nå er isolasjonsmengden endret til 200mm mineralull som utgjør en u-verdi på 0,18 W/m²K. Glaszdøren er også erstattet med en ny dør som har en u-verdi på 1,2 W/m²K.

Isolasjon mm	Temp utenfor driftstid Grader celsius	U-verdi tak W/m ² K	Energibehov kWh/år	Redusert kWh/år	Redusert kWh/år i %
Nåværende	28	0,72	15757		
+150	80	0,18	15049	708	4 %
+150	70	0,18	13073	2684	17 %
+150	60	0,18	11104	4653	30 %
+150	50	0,18	9447	6310	40 %
+150	40	0,18	8664	7093	45 %

Tabell 12 Resultater fra Simien

Av denne simuleringen ser vi at en ved økt isolasjonsmengde og ny dør kan det opprettholdes 80 grader gjennom natten, og fortsatt ha et lavere energibruk enn ved nåværende situasjon. Holder man 60 grader gjennom natten vil energibehovet reduseres med 30% sammenlignet med dagens situasjon.



Graf 7 illustrerer effekten av isolert badstue ved nattsinking

I graf 7 er den oransje linjen energibehovet etter 150mm isolasjon i tak og en dør med u-verdi 1,2 W/m²K. Mens den grå linjen viser hvor mye energi som trengs ved nåværende situasjon, hvor badstuovnen er avslått om natten. Vi ser at badstuen kan være i drift hele natten og fortsatt bruke mindre energi. Her kan en vurdere å holde en viss temperatur under natten for å slippe å varme opp badstuen på morgenen, og da slippe de høye effektkurvene og minimere oppvarmingstid.

6 Diskusjon

Dette kapittelet diskuterer resultatene, og det presenteres tiltak som kan gjennomføres for å redusere energibruket i badstuen.

6.1 Nåværende situasjon

Loggingen som er gjennomført har målt hvor mye energi badstuen benytter i dag. Bildene som er tatt med termisk kamera viser tydelig hvor konstruksjonen har en svakhet når det kommer til varmetap. Sett sammen gir bildene og målingene et godt bilde på energibruk og hvordan dette påvirkes av badstuens konstruksjon.

Badstuovnen har etter gjennomførte målinger et snitt dagsforbruk på 42 kWh. Dette tilsvarer et gjennomsnittlig årlig forbruk på 15 330 kWh.

Loggingen har videre avdekket at dagens rutiner tilknyttet åpning av badstuene ikke er gunstig. Målingene viser at badstuen har oppnådd 80 grader allerede 40 minutter før åpningstid, i gjennomsnitt per dag. Ved å optimalisere rutinene rundt når ovnen slås på vil dette kunne utgjøre besparelser. Dersom en ganger antall timer badstuen står unødvendig på med snittforbruket til badstuovnen, ser man at de svake rutinene utgjør et unødvendig forbruk på 1 336,5 kWh per år.

Loggingen viser også at badstuene ofte slås av før stengetid. Dette kan ha en sammenheng med at besøkende ikke slippes inn senere enn én time før stenging. Dersom det ikke er folk i avdelingen mot stengetid, vet ansatte at det ikke kommer flere, og badstuene kan slås av. Dette har positiv effekt på energibruket.

Slik det gjøres i dag med å stenge badstue helt på nattestid, er den beste løsningen med tanke på energibruk. Dette fordi en med dagens bygningsfysikk bruker mye energi på å holde badstue varm. Det vil derfor lønne seg å holde en temperatur over natten. Ved å isolere badstuen, og bytte dør, blir saken en annen. Når badstuen er forbedret kan den holde 80 grader gjennom hele natten og bruke mindre energi enn i dag. Dette understreker hvor mye bygningsfysikken har å si for badstuens energibruk.

Bildene tatt med termisk kamera viser tydelige temperaturforskjeller i rommet, spesielt rundt glassdøren. Glassdøren har nesten samme temperatur på utsiden som innsiden. Dette viser at varmemotstanden til døren er svært liten, som gir døren en høy u-verdi, og den er derfor lite energivennlig. Glassdøren er ikke bare et varmetap, men også et faremoment. Skulle en av gjestene være så uheldig å ta på glasset i toppen av døren, kan personen risikere å brenne seg.



Bilde 22

En annen ting verdt å merke seg er at kWh i døgnet ikke varierer i takt med besøkende. Graf 2 viser hvordan energibruket er fra dag til dag i 14 dager opp mot antall besøkende. Grafen viser at dagen med høyest kWh ikke er den dagen med flest besøkende. En årsak kan være at bygningsfysikken er såpass dårlig, at mye trafikk i badstuen ikke vil ha påvirkning. Spesielt glassdøren transporterer mye varme ut av badstuen, så om døren går opp flere ganger i løpet av døgnet, påvirkes ikke energibruket stort.

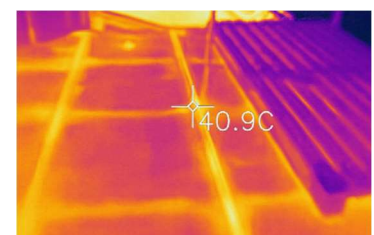
Av bildene ser man at dørkarmen og luftspalten under døren transporterer mye varme. Når temperaturforskjellen mellom gulv og tak er 40°C, skaper dette et naturlig lufttrykk. Det vil si at det dannes et undertrykk i nedre del av badstuen, som gjør at luften fra utsiden trekkes inn. Siden det er en luftspalte i døren, trekkes det automatisk luft fra utsiden og inn langs gulvet til badstuen. Dette kommer tydelig fram på bilde 24.



Bilde 23

I toppen av døren vil det være en motsatt effekt. Dette er over nøytralsonen og det dannes et overtrykk. Den varme luften trenger ut gjennom dørkarmen, spesielt helt i toppen. Desto varmere luften er, jo mer trykk skapes og luften trenger ut i svakheten av konstruksjonen.

Det samme ser vi på bildet av taket. Varmen trenger ut gjennom konstruksjonens svakhet. De stedene som har sammenhengende trevirke, leder mer varme ut fra badstuen. Trevirke har høy varmeledningsevne i forhold til mineralull. Det gjør at mer varme transporteres ut i områdene med trevirke.



Bilde 24

Gjennomførte undersøkelser viser at badstuen i dag har et høyere energibruk enn nødvendig. Det viser seg at hovedårsaken til det unødvendige energiforbruket er badstuens konstruksjon. Som nevnt i teoridelen har Byggteknisk forskrift en rekke energikrav ved bygging av boliger og andre anlegg, men det foreligger ingen slike krav for badstuer. Resultatene påpeker hvor viktig ulike komponenter er, og viser at de gjør en stor forskjell på energibruket. Det burde absolutt være energikrav til badstuer, fordi en gjennomsnittlig badstue bruker nesten like mye energi som en enebolig.

Badstuen som er undersøkt her er oppbygd på enkelt vis, med en konstruksjon som er lite energivennlig. Oppgaven vil derfor videre ta for seg ulike tiltak tilknyttet konstruksjonen, som kan redusere badstuens energiforbruk.

6.2 Tiltak

Ved bruk av Simien er det gjennomført simuleringer av badstuen der vi har muligheter til å se energibesparelsene ved å endre badstuens bygningsfysikk.

6.2.1 Isolering av tak

I tabell 6 i kapittel 5 så vi en framstilling av simuleringer gjennomført med etterisolering av badstuens tak. Resultatene viser at energibehovet reduseres med økt isolasjonsmengde, men at denne reduksjonen er minimal. For å gå nærmere inn på om en slik etterisolering av tak vil kunne være lønnsomt, gjøres det her en beregning på kostander ved de ulike scenarioene i tabell 13.

Prisene på mineralullen er hentet fra leverandøren Glava. Når det gjelder pris på gjennomføring av etterisoleringen har jeg vært i kontakt med en entreprenør og snekker, og innhentet rimelige priser. Det er mange faktorer som vil spille inn på den endelige kostanden. Kostandene som er benyttet her er vurdert til å gi et rimelig innblikk i hva det vil koste å gjennomføre de ulike tiltakene. Ved beregnet pris på strømforbruk er det benyttet en strømpris på kr 1 per kWh.

I tabellen under er det satt opp en oversikt over kostnader sett opp mot besparelser ved de ulike mengdene med isolasjon.

Utgifter ved etterisolering tak							Inntjent	inntjening	
Pris per m2	Isolasjon mm	Pris på 10m ²		Arbeid	Total utgift		Kr/år	år 1	
kr 28,87	50	kr	289	kr	4 000	kr	4 289	186	kr - 4 103
kr 55,12	100	kr	551	kr	4 000	kr	4 551	247	kr - 4 304
kr 86,10	150	kr	861	kr	4 000	kr	4 861	277	kr - 4 584
kr 111,40	200	kr	1 114	kr	6 000	kr	7 114	297	kr - 6 817
kr 143,10	250	kr	1 431	kr	6 000	kr	7 431	307	kr - 7 124

Tabell 13 lønnsomhet etter 1. år med forskjellige tiltak

Beregningene viser at en ved å ha 250mm ekstra isolasjon i badstuens tak vil oppnå en besparelse på 307 kr per år. Kostandene for å etterisolere til en slik mengde er beregnet til 7 124. Videre beregninger viser at en ved å ha 150mm isolasjon er det mest lønnsomme alternativet her. Da vil investeringen være inntjent etter om lag 17 år. Basert på nevnte er det ikke vurdert hensiktsmessig å gjennomføre etterisolering kun av badstuens tak.

6.2.2 Forbedring av dør

Tabell 7 i kapittel 5 viser en simulering av scenarier med ulike U-verdier på badstuens dør. Som nevnt her vil en dør med U-verdi på 0,8 W/m²K gi det laveste energibehovet, og en nedgang på årlige kWh på 43%. I tabellen under er det beregnet kostnader og besparelser ved å gjennomføre de ulike scenarioene. Beregningene er gjort under samme forutsetninger som ved etterisolering av tak.

Utgifter ved utskifting av dør									
Dør, U-verdi	Pris Dør		Arbeid		Total utgift		inntjent	Inntjening	Prosent
							Kr/år	År 1	Nedbetalt år 1
10	1 500	kr	2 500	kr	4 000	kr	3 373	- 627	kr 84 %
5	2 000	kr	2 500	kr	4 500	kr	5 164	664	kr 115 %
3	3 800	kr	2 500	kr	6 300	kr	6 105	- 195	kr 97 %
1,2	4 500	kr	2 500	kr	7 000	kr	6 610	- 390	kr 94 %
0,8	8 000	kr	2 500	kr	10 500	kr	6 768	- 3 732	kr 64 %

Tabell 14 lønnsomhet etter 1. år med forskjellige tiltak

Resultatene viser at det vil kunne gi gode besparelser ved å bytte ut dagens glassdør til en dør med lavere U-verdi. Av kolonnen under «inntjent kr/år» ser vi hvor store besparelsene er per år ved de ulike scenarioene.

Den siste kolonnen viser nedbetalingen prosentvis etter ett år, og en ser at investeringen i flere av scenarioene er tilnærmet nedbetalt etter første år. Videre viser utregningen at når U-verdien på døren nærmer seg 1 W/m²K, øker prisen på døren, mens besparelsene ikke øker tilsvarende like mye. Det gjør at over en 10 års periode, vil ikke døren med lavest U-verdi være den beste løsningen sett økonomisk. Tabellen under viser en oversikt over fortjenestene ved de ulike dørene over 10 år.

Fortjeneste med de forskjellige dørene i løpet av 10år						
År	U-verdi 10	U-verdi 5	U-verdi 2,5	U-verdi 1,2	U-verdi 0,8	
1.	kr - 627	kr 664	kr - 195	kr - 390	kr - 3 732	
2.	kr 2 746	kr 5 828	kr 5 910	kr 6 220	kr 3 036	
3.	kr 6 119	kr 10 992	kr 12 015	kr 12 830	kr 9 804	
4.	kr 9 492	kr 16 156	kr 18 120	kr 19 440	kr 16 572	
5.	kr 12 865	kr 21 320	kr 24 225	kr 26 050	kr 23 340	
6.	kr 16 238	kr 26 484	kr 30 330	kr 32 660	kr 30 108	
7.	kr 19 611	kr 31 648	kr 36 435	kr 39 270	kr 36 876	
8.	kr 22 984	kr 36 812	kr 42 540	kr 45 880	kr 43 644	
9.	kr 26 357	kr 41 976	kr 48 645	kr 52 490	kr 50 412	
10.	kr 29 730	kr 47 140	kr 54 750	kr 59 100	kr 57 180	

Tabell 15 oversikt over en 10 årsperiode, sparte kr ved forskjellige dør typer

Uansett hvilket tiltak en velger er det nedbetalt med fortjeneste etter 2år. Døren som kommer best ut økonomisk, er døren med u-verdi på 1,2 W/m²K. Ved å bytte til en slik dør er det nesten oppnådd en besparelse på 60 000 kr etter ti år. Dette tilsvarer hele 66 000 kWh. Ser man dette opp imot energibehovet til en enebolig, er 66 000 kWh like mye energi som en gjennomsnittlig husstand bruker på om lag 4 år (sentralbyrå, 2018). Døren med en U-verdi på 0,8 W/m²K gir litt høyere besparelse av energi. Årlig utgjør denne besparelsen likevel kun litt over 100 kWh mer enn dør 1,2, og effekten av å øke U-verdien til 0,8 W/m²K vurderes som liten, kontra investeringskostnadene.

Av tabellen nedenfor ser vi beregninger på besparelser ved å både øke isolasjonsmengden i badstuens tak, og tillegg bytte ut døren til en dør med en U-verdi på 1,2 W/m²K.

Isolasjon mm	U-verdi dør W/m ² K	U-verdi W/m ² K	Energibehov KWh år	Spart KWh år
Nåværende	20	0,72	15757	
+50	1,2	0,36	8825	6932
+100	1,2	0,24	8719	7038
+150	1,2	0,18	8666	7091
+200	1,2	0,14	8631	7126
+250	1,2	0,12	8613	7144

Tabell 16 resultat fra Simien, forbedring av dør og etterisolering av tak

Fra tabell 8 i kapittel 5 ble resultatet med dørbytte på en u-verdi 1,2 W/m²K en årlig besparelse på 6 610kWh i året. Tabell 6 viste at kun 50mm ekstra isolasjon i taket sparte 186 kWh årlig. Når begge tiltakene ble slått sammen, oppnås det en besparelse på 6 932 kWh årlig. Det resulterer i at effekten av takisolasjon øker i kombinasjon av dørbytte. Dette kommer av at glassdøren stod for mesteparten av energitapet og med et dørbytte spiller resten av bygningsfysikken en viktigere rolle.

Her ser vi en oversikt over de to tiltakene for en 10.års periode. Det som gir best utslag økonomisk, er kombinasjonen av døren på 1,2 W/m²K og etterisolert tak med 100-150mm mineralull.

År	Besparelse med dørbytte og etterisolering av tak løpet av 10år					
	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	
1.	-kr 1 068	-kr 1 462	-kr 3 209	-kr 5 874	-kr 9 356	
2.	kr 5 864	kr 5 576	kr 3 882	kr 1 252	-kr 2 212	
3.	kr 12 796	kr 12 614	kr 10 973	kr 8 378	kr 4 932	
4.	kr 19 728	kr 19 652	kr 18 064	kr 15 504	kr 12 076	
5.	kr 26 660	kr 26 690	kr 25 155	kr 22 630	kr 19 220	
6.	kr 33 592	kr 33 728	kr 32 246	kr 29 756	kr 26 364	
7.	kr 40 524	kr 40 766	kr 39 337	kr 36 882	kr 33 508	
8.	kr 47 456	kr 47 804	kr 46 428	kr 44 008	kr 40 652	
9.	kr 54 388	kr 54 842	kr 53 519	kr 51 134	kr 47 796	
10.	kr 61 320	kr 61 880	kr 60 610	kr 58 260	kr 54 940	

Tabell 17 10 årsperiode med tiltakene i tabell 16

6.2.3 Etterisolering tak, vegg og forbedring av dør

Beregningene her, er gjort for å danne et bilde av hvordan det kunne ha vært hvis badstuen var isolert i både vegger og tak, samt at døren er forbedret til en U-verdi på 1,2 W/m²K. Tabell 10 i kapittel 5 presenterer resultatene ved en slik simulering. Ved 250mm ekstra isolasjon og en forbedret dør reduserer energibehovet til 3 828 kWh per år. Sammenlignet med dagens situasjon er dette en årlig besparelse på hele 11 929 kWh. For også å se på det økonomiske

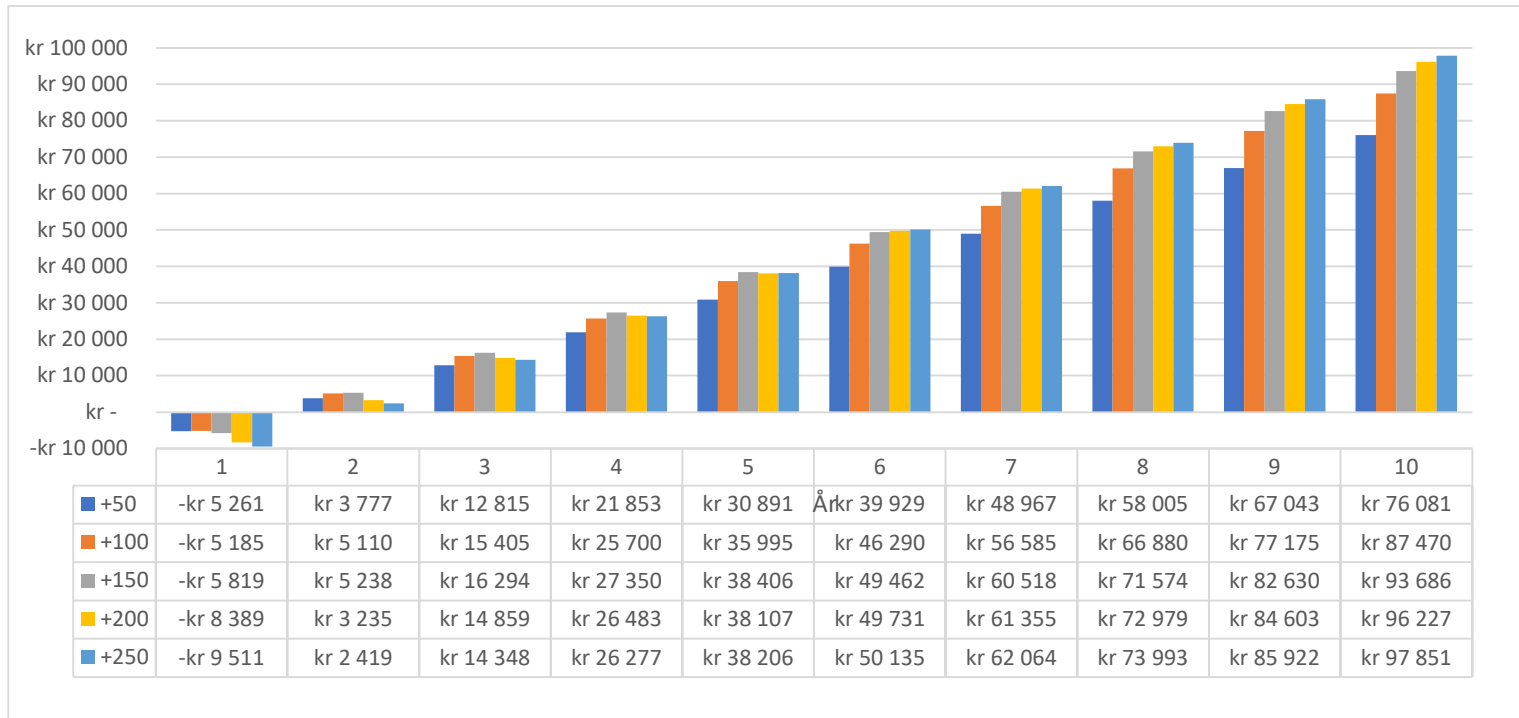
aspektet tilknyttet disse scenarioene er det gjennomført beregninger av dette under samme forutsetninger som tidligere.

Utgifter ved etterisolering tak og vegg, og forbedring av dør												
Isolasjon mm	Pris per m ²	Pris for 45m ²	Arbeid + dør	Total utgift	Inntjent Kr/år	Inntjent År 1	Nedbetalt År 1					
+50	kr 28,9	kr 1 299	kr 13 000	kr 14 299	kr 9 038	-kr 5 261	63 %					
+100	kr 55,1	kr 2 480	kr 13 000	kr 15 480	kr 10 295	-kr 5 185	67 %					
+150	kr 86,1	kr 3 875	kr 13 000	kr 16 875	kr 11 056	-kr 5 819	66 %					
+200	kr 111,4	kr 5 013	kr 15 000	kr 20 013	kr 11 624	-kr 8 389	58 %					
+250	kr 143,1	kr 6 440	kr 15 000	kr 21 440	kr 11 929	-kr 9 511	56 %					

Tabell 18 fortjeneste på 1.år med etterisolert tak, vegg og dør

Det første året er det ingen fortjeneste økonomisk, da investeringene er større enn spart kWh. Ser vi på år to, er alt inntjent, uansett hvilket tiltak en velger.

Diagrammet nedenfor illustrerer scenarioene over et tiårs perspektiv. En ser tydelig at investeringskostnadene år 1 er lave sammenlignet med oppnådde besparelser gjennom de ti årene. Ved en isolasjonsmengde på +250mm vil man etter ti år ha spart rundt 97 851 kr. Dette tilsvarer hele 119 290 kWh spart på 10 år.



Graf 8 Grafisk framstilt resultatet fra tabell 17 i en 10 års periode

6.2.4 Isolasjonsmengde

Når isolasjonsmengden øker, kan forskjellige problemer oppstå. I dag er det ikke dampsperre i badstuen, så med å øke isolasjonsmengden kan det oppstå fuktproblemer og dannes kondens i konstruksjonen. Badstuen holder en innvendig temperatur på 80 grader, mens på utsiden er det 28-30 grader. Siden varm luft har evnen til å holde på mer mengde vanndamp enn kald luft, slipper den varme luften vanndamp når den blir avkjølt. Dersom dette skjer i isolasjonssjiktet, dannes det kondens. Derfor er det viktig å undersøke om det lar seg gjennomføre med tykkere lag isolasjon, eventuelt montere dampsperre.

Rapporten tar ikke for seg fuktberegninger eller fukttransport i konstruksjon. Den har kun sett på hvilket tiltak som er økonomisk og energibesparende. For å kunne gjennomføre tiltakene må ytterlig undersøkelser legges til grunn. Forskjellen mellom 200mm isolasjon til 300mm er minimal med hensyn på energibesparelsen, men med tanke på kondens i konstruksjonen kan isolasjonsmengden utgjøre en vesentlig forskjell.

7 Konklusjon

7.1.1 Spektrum Velvære

I spektrum Velvære er det ingen tvil om at det er tiltak som kan redusere energibruken. Gjennomførte målinger og beregninger viser at rutinene tilknyttet styringen av badstuen har et forbedringspotensial. Ved å installere digital styring på badstuene, og legge inn faste tidspunkt for når ovnen skal slås på, optimaliseres oppvarmingstiden opp mot åpningstiden. Det gjør at de ansatte ikke trenger å slå på badstuene fysisk, og en slipper menneskelig «feil», som fører til unødvendig driftstid.

I tillegg til å bedre rutinene viser gjennomførte undersøkelser at å bytte glassdøren til en mer varmemotstandig dør vil redusere energibehovet drastisk. Økonomisk sett, er en løsning der en kun bytter glassdøren den mest effektive. I dag er bærekraft et viktig tema, og sett i et bærekraftperspektiv vil det å øke isolasjonen i taket, i tillegg til å bytte døren, øke energibesparelsen. I forhold til å kun bytte ut døren vil kostnadene være litt høyere ved en slik løsning, men energibruket vil reduseres ytterligere. Det vil på bakgrunn av dette anbefales å bytte døren til en dør med u-verdi $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, og øke isolasjonen med 150mm i taket. Simuleringen av disse tiltakene viste gode resultater. Ved en forbedret bygningsfysikk vil det ikke være behov for en badstuovn på 16kW, slik som dagens ovn. Dersom effekten på ovnen reduseres slipper man de høye effektkurvene når ovnen slår inn.

Undersøkelsene viser at en ved enkle tiltak kan spare om lag 10 000 kWh årlig kun for denne badstuen. Overfører man dette til et større bilde, kan en oppnå positiv innvirkning på miljøet. Det befinner seg et stort antall badstuer i ulike idrettsanlegg i Norge. Si at det er 1500 badstuer i Norge med ca. samme bygningsfysikk som den finske saunaen i Spektrum Velvære. Dette gir et forbedringspotensial på 15 GWh hvert år, som tilsvarer 15 000 000 kWh en kan spare med enkle tiltak. Tiltakene vil være med på å gi et bærekraftig løft på spa- og idrettsanlegg i Norge.

7.1.2 Generelle tiltak for badstuer

Resultatene viser at en ved å isolere vegger og tak, samt bytter dør oppnår de største besparelsene, både økonomisk og når det gjelder energibruk. Ved bygging av badstuer anbefales det ikke å benytte en isolasjonsmengde under 100mm. Videre vil det være

hensiktsmessig å benytte en isolert dør med U-verdi mellom 1 og 2 W/m²K. Dette vil forbedre badstuens lokalmiljø, da varmen isoleres inne i badstuen og ikke påvirker andre bygningskomponenter. I tillegg vil det ytre miljøet påvirkes positivt i form av redusert energibruk.

I TEK17 stilles det ingen krav til bygningsfysikken på en badstue, til tross for at den bruker like mye energi som enebolig. For eneboliger stilles det høye krav til U-verdier på vindu og dør, men i badstuen hvor temperaturforskjellen inne og ute er vesentlig større, stilles det ingen krav. Her burde det stilles spørsmål til om det er forskriftsmessig rett at det ikke stilles energikrav. Spesielt når det gjelder anlegg som driftes daglig.

8 Videre forskning

Gjennomførte undersøkelser er gjort under visse forutsetninger, og med begrenset tid. For å få et bedre bilde av energibruk i Spektrum Velvære anbefales det derfor å gjennomføre flere målinger på hver enkelt badstue. Dette vil kunne gi en enda mer korrekt bilde av energibruken til anlegget.

Diskuterte tiltak er trukket fram basert på simuleringer gjennomført i Simien. Denne modellen hensyntar ikke andre mulige påvirkninger av gjennomførte tiltak. Slike ting kan for eksempel være fukt i konstruksjonen. Det vil på bakgrunn av dette anbefales å gjennomføre undersøkelser av nevnte tiltak i praksis.

Det er ikke her sett på størrelsen av ovnen i badstuen. Det er et interessant tema å gjennomføre undersøkelser på nødvendig størrelse på ovnen. Spesielt i samsvar med tiltakene som bedrer badstuens isoleringsevne.

Bildeliste

<i>Bilde 1 Bodø Spektrum fra fugleperspektiv</i>	2
<i>Bilde 2 Skisse av utformingen til badstuene i Spektrum Velvære</i>	3
Bilde 3 Foto av den Infrarøde	4
Bilde 4 Foto av Saltvannskabinen i Velværeavdelingen.....	4
Bilde 5 Foto av Finsk Sauna i Spektrum Velvære	5
Bilde 6 Foto av Dampbad i Velvære	5
Bilde 7 Foto av Tepidarium ved Velvære	6
Bilde 8 foto av Røtharium i Spektrum	6
Bilde 9 Illustrerer former for varmetransport.....	12
Bilde 10 Illustrasjon av Flir One Pro.....	14
Bilde 11 Elitepro under logging	14
Bilde 12 Tatt under befaring, viser teknisk rom.....	15
Bilde 13 Viser hvordan programmet ser ut.....	15
Bilde 14 termisk bilde av glassdøren til Finsk sauna, tatt fra utsiden.....	17
Bilde 15 termisk bilde av glassdøren til Finsk sauna, tatt fra utsiden.....	17
Bilde 16 termisk bilde av glassdøren til Finsk sauna, tatt fra innsiden	18
Bilde 17 termisk bilde av øverste benk i badstuen	19
Bilde 18 Termisk bilde av taket på innsiden i finsk sauna.....	19
Bilde 19 vanlig fot av taket i badstuen, fra utsiden.....	20
Bilde 20 Termisk bilde av taket til finsk sauna fra utsiden.....	20
Bilde 21 Termisk bilde av taket rett over badstuovnen fra utsiden.....	20
Bilde 22	33
Bilde 23	33
Bilde 24	33
Bilde 25 viser glassdøren tatt fra innsiden av finsk sauna.	47
Bilde 26 viser taket fra utsiden av den finske saunaen	48

Grafliste

Graf 1 Luftfuktighetsdiagram viser sammenheng mellom temperatur, RF, vandampinnhold og damptrykk	10
Graf 2 Antall besøkende og energibruk per dag	24
Graf 3 Viser kWh / person fra fredag 22.01-torsdag 04.02.....	24
Graf 4 Oversikt over badstuovnens dagsforløp i finsk sauna.....	25
Graf 5 Oversikt over badstuovnens dagsforløp i finsk sauna.....	25
Graf 6 Framstilling av besparte kWh ved dørbytte	28
<i>Graf 7 illustrerer effekten av isolert badstue ved nattsinking</i>	31
<i>Graf 8 Grafisk framstilt resultatet fra tabell 17 i en 10 års periode</i>	38
Graf 9 Viser en simulering av energibehov i løpet av et år med kun å bytte til isolert dør i forskjellige isolasjonsgrad.	47

Tabelliste

<i>Tabell 1, en oversikt over energikravene til forskjellige komponenter</i>	8
Tabell 2 Resultater fra målingene fra Elitepro	21
<i>Tabell 3 Resultater fra målingene fra Elitepro</i>	22
Tabell 4 kWh beregning fra målingene til Elitepro.....	23
<i>Tabell 5, kWh beregning fra målingene til Elitepro</i>	23
Tabell 6 Resultater fra Simien	27
Tabell 7 Resultater fra Simien	27
Tabell 8 Resultater fra Simien	28
<i>Tabell 9 Resultater fra Simien</i>	29
<i>Tabell 10 Resultater fra Simien</i>	29
<i>Tabell 11 Resultater fra Simien</i>	30
<i>Tabell 12 Resultater fra Simien</i>	30
<i>Tabell 13 lønnsomhet etter 1. år med forskjellige tiltak</i>	35
<i>Tabell 14 lønnsomhet etter 1. år med forskjellige tiltak</i>	35
<i>Tabell 15 oversikt over en 10 årsperiode, sparte kr ved forskjellige dør typer</i>	36
<i>Tabell 16 resultat fra Simien, forbedring av dør og etterisolering av tak</i>	37
<i>Tabell 17 10 årsperiode med tiltakene i tabell 16</i>	37
<i>Tabell 18 fortjeneste på 1.år med etterisolert tak, vegg og dør</i>	38

Referanseliste

- Byggforskserien (2000) *Badstuer i bolig*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/418/badstuer_i_boliger (Hentet: 04.mai 2021).
- Byggforskserien (2016a) *Lover og regler for bygg- og anleggsnæringen*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/31/lover_og_regler_for_bygge_og_anleggnaeringen (Hentet: 05.februar 2021).
- Byggforskserien (2016b) *Energikrav* Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/5162/energikrav_til_bygninger_oversikt (Hentet: 23. februar 2021).
- Byggforskserien (2020) *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer (Hentet: 18.mars 2021).
- Dent (2021) *Elitepro XC*. Tilgjengelig fra: <https://www.dentinstruments.com/technical-documents/elitepro> (Hentet: 02. mars 2021).
- Edvartsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (2017) Trehus, i Edvartsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (red.) *Håndbok 5, Sinteff Byggforsk*. Oslo: Trond Hauge, s. 388-394.
- Flir (2021) *Flir One Pro*. Tilgjengelig fra: <https://www.flir.eu/products/flir-one-pro/> (Hentet: 20. februar 2021).
- Leksikon, S. N. (2018) *TEK*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/Byggteknisk_forskrift_\(TEK\)](https://snl.no/Byggteknisk_forskrift_(TEK)) (Hentet: 06.mars 2021).
- Leksikon, S. N. (2019) *Effekt*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/effekt_-_energi (Hentet: 09.mars 2021).
- Leksikon, S. N. (2020) *Varmeledning*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmeledning> (Hentet: 03. Mai 2021).
- Programbyggerne (2016) *inrtudksjon av Simien*. Tilgjengelig fra: <https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/introduksjon> (Hentet: 04.februar 2021).
- sentralbyrå, S. (2018) *Vi bruker mindre strøm hjemme*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/vi-bruker-mindre-strom-hjemme> (Hentet: 16. April 2021).
- Spektrum, B. (2017a) *Om Bodø Spektrum*. Tilgjengelig fra: <https://bodospektrum.no/om-bodo-spektrum/> (Hentet: 25. januar 2021).
- Spektrum, B. (2017b) *Kort om Spektrum Velvære*. Tilgjengelig fra: <https://bodospektrum.no/velvare/> (Hentet: 25. januar 2021).

Vedlegg

Vedlegg 1, Artikkel

Energibruk i badstue

Studentoppgave fra NTNU 2021

Tradisjonelle badstuen

Den Finske Saunaen, som er den tradisjonelle badstuen, bruker like mye energi som en gjennomsnittlig enebolig. Men med enkle tiltak kan energibehovet reduseres med 60-70% i året. Utgiftene ved å utarbeide tiltakene vil være innspart i løpet av 2 år og gir ren fortjeneste årene videre.

Bakgrunnen for oppgaven

I dag er klimaet et belyst tema, samt hvilke tiltak og løsninger som må gjøres for å oppnå et klimavennlig samfunn. Dette gjør det svært aktuelt å se nærmere på energibruk. Når det gjelder badstuer, spesielt i offentlige bygg, prioriteres ikke energibruken i første rekke. Den «tradisjonelle» badstuen som holder rundt 80 grader krever mye energi, og det stilles ingen energikrav til bygningskomponenter eller utførelse. Det resulterer i at badstuene blir bygg på enkelt vis, og har design i hovedfokus som gjerne innebærer konstruksjoner av glasskomponenter (eksempel dør).

Når en tenker på hvor mange badstuer som driftes i Norge i dag, er tallet relativt høyt. Si at det er om lag 2 000 badstuer som driftes daglig, og hver enkelt badstue kunne vert optimalisert for energibesparelse. Det utgjør mange kWh i året som kunne vært brukt til noe annet enn å «fyre for Kråka». I den forbindelse tar oppgaven tak i følgende problemstilling:

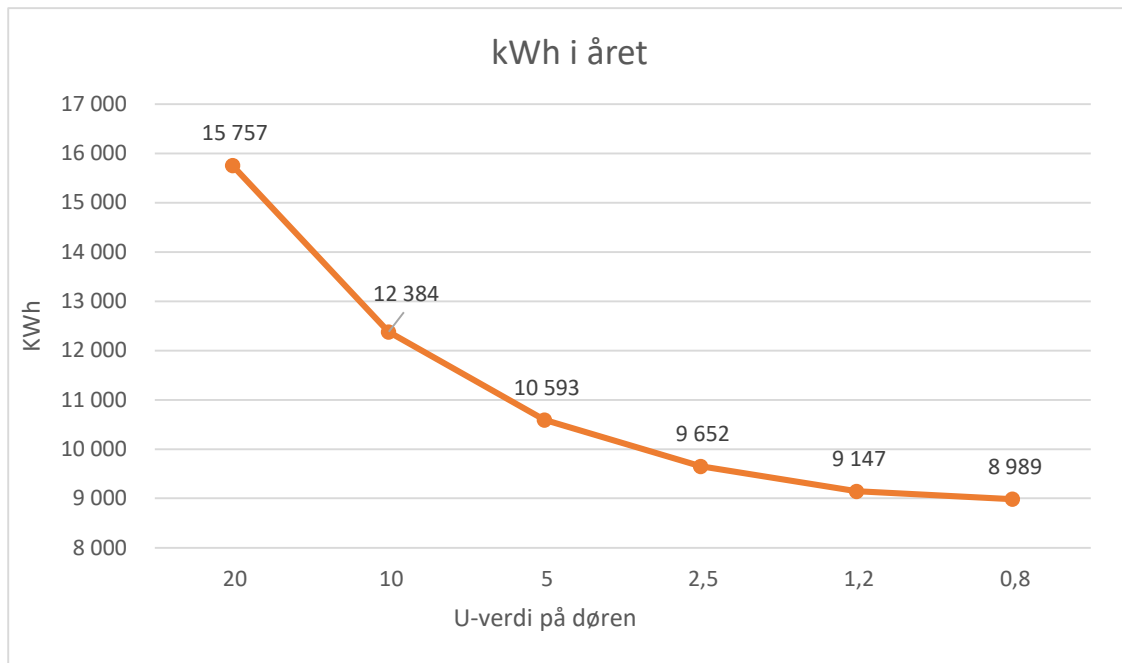
Hvor mye energi kreves for å drifte en badstue, og hvilke tiltak gir en best mulig energieffektiv badstumodell?

Oppgaven er i samarbeid med Senter for Idrettsanlegg og Teknologi (SIAT), det var de som kom opp med ideen og foreslå en videre undersøkelse. Målinger og beregninger er gjort i forbindelse med badelandet i Bodø Spektrum, hvor det finske saunaen i Spektrum Velvære er analysert. Målet med oppgaven er å kartlegge energibehovet til en badstue, og bevisstgjøre samfunnet på hvor mye energi som kunne blitt spart.

Finsk Sauna, Spektrum Velvære

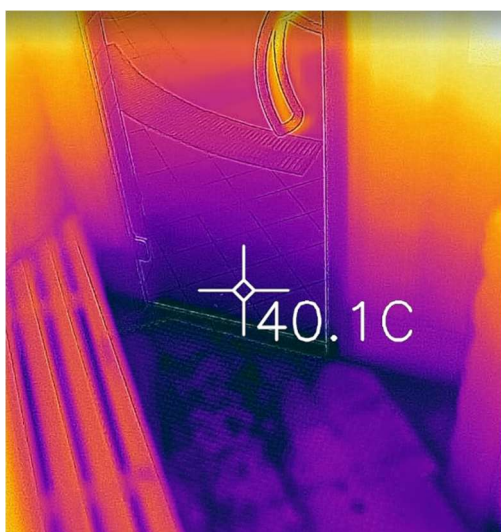
I spektrum Velvære er det ingen tvil om at det er tiltak som kan redusere energibruken. Alt i fra rutiner på styring av selve badstuen, til å skifte ut enkle bygningskomponenter.

I dag bruker den finske badstuen 15 757 kWh i året, det er like mye energi som en enebolig bruker på et år. Med enkle tiltak som å erstatte glassdøren (som i dag er døren inn til badstuen), til en dør som er bedre isolert, reduseres energibehovet drastisk.



Graf 9 Viser en simulering av energibehov i løpet av et år med kun å bytte til isolert dør i forskjellige isolasjonsgrad.

Graf 1 viser hvor mange kWh i året badstuen trenger for å driftes med forskjellige typer dører. På x-aksen vises u-verdien på dørene som er simulert. Dagens dør er regnet en u-verdi på 20 og med å bytte til en dør med U-verdi på 0,8, halveres energibehovet. Isolasjonsmengden i dag er kun 50mm mineralull i vegger og tak. Et bilde tatt med et termisk kamera viser svakheter i konstruksjonen.

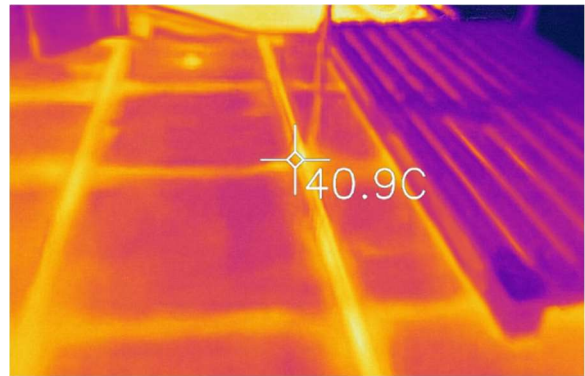


Bilde 25 viser glassdøren tatt fra innsiden av finsk sauna.

På bilde1 vises det godt at kulden trekker inn langs gulvet, og glassdørens isoleringsevne er ikke optimal. Bildet er tatt fra innsiden av badstuen og temperaturforskjellen mellom tak og gulv er 40 grader celsius.

Badstue-modulen er plassert i et teknisk rom sånn at det er mulig å innsisere yterfasaden. Det ble tatt termisk bilde av taket fra utsiden. Det viser at det ikke kun er inngangspartiet som har en svakhet, men også taket.

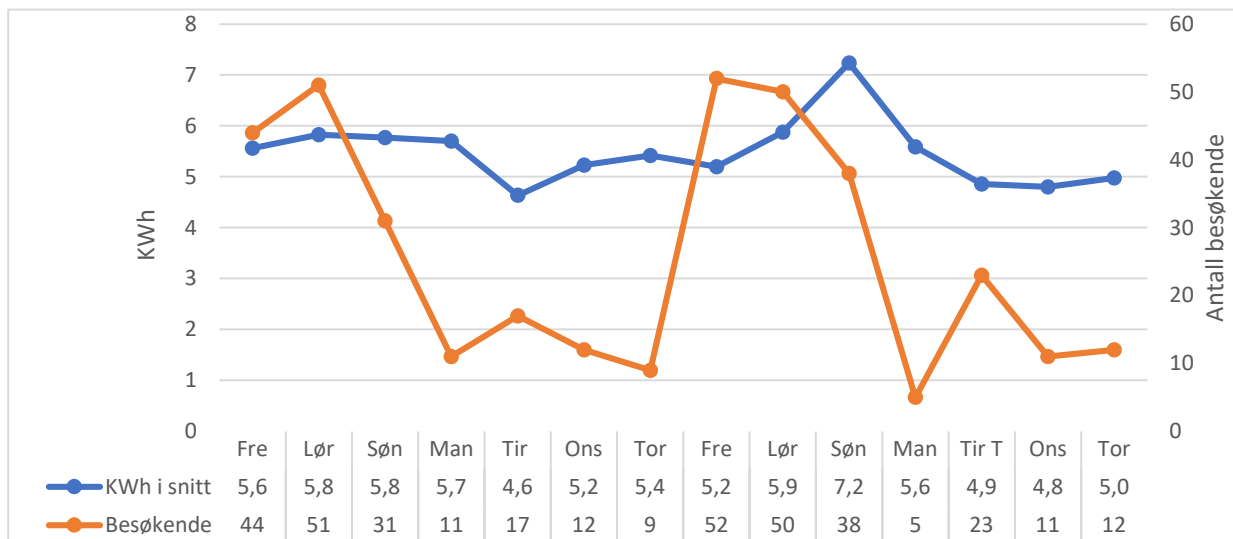
Taket har ikke sammenhengende isolasjon, men har bindingsverk av tre som er en del av konstruksjonen. Det kommer veldig tydelig fram på bilde2, fordi trevirke leder varme mye mer enn isolasjonen og med et termisk kamera klarer en å fange dette opp.



De gule linjene er trevirke som har en høyere temperatur enn isolasjonen, de mørkere farge som symboliserer kaldere overflate og har isolasjon under.

Bilde 26 viser taket fra utsiden av den finske saunaen

Mye energi forlater badstuen som gjør at det må tilføres ny energi i form av elektrisk varme i dette tilfellet. Under ser vi er graf som illustrerer energibruket over 14 dager i den finske saunaen. Den blå linjen er kWh/h som er brukt i snitt den dagen, og den oransje linjen er antall besøkende på samme dag.

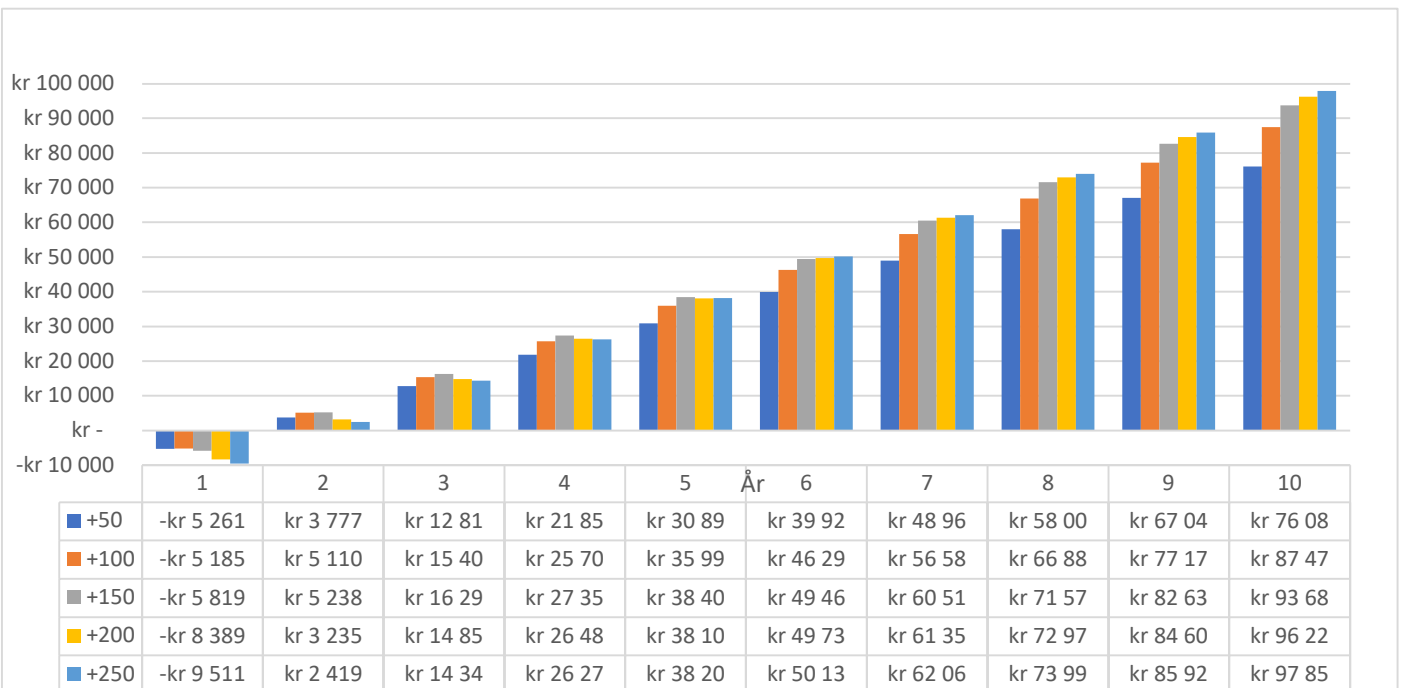


Resultatet viser at energibruket ikke har så stor påvirkning etter antall besøkende. Den dagen med flest besøkende er ikke den dagen som har størst kWh bruk, og den dagen med færrest besøkende er heller ikke lavest kWh bruk.

Energibruket er ganske stabilt og kan ha en sammenheng med at bygningsfysikken ikke er optimal og klarer ikke holde på varmen. Så om det er ekstra trafikk i badstudøren har ikke stor innvirkning på energibruket, varmen trenges ut uansett.

Men med å erstatte dagens dør med en som har bedre isoleringene og etterisolerer, blir energibehovet noe helt annet. Nedenfor er det laget en oversikt på hvor mye tiltakene koster, og hvor mye tiltakene vil redusere kWh/år (som resultere i sparte kr). I simuleringer er det brukt en dør som har u-verdi på 1,2 W/m²K, og variert isolasjonsmengden mellom 50-250mm ekstra mineralull. Resultatet etter ett års drift uansett tiltak er forbløffende.

På et år er utgiftene med tiltakene mellom 50-60% tilbakebetalt. Det vil si at etter andre året går prosjektet med overskudd. Under ser vi en tabell som viser fortjenestene for de ulike tiltakene over en tiårsperiode.



Oppsummert er det ingen tvil om at konstruksjonen til badstuen har forbedringspotensialer. Med enke tiltak som å erstatte døren og isolere vegger og tak reduseres energibehovet betraktelig.

Vedlegg 2, plakat

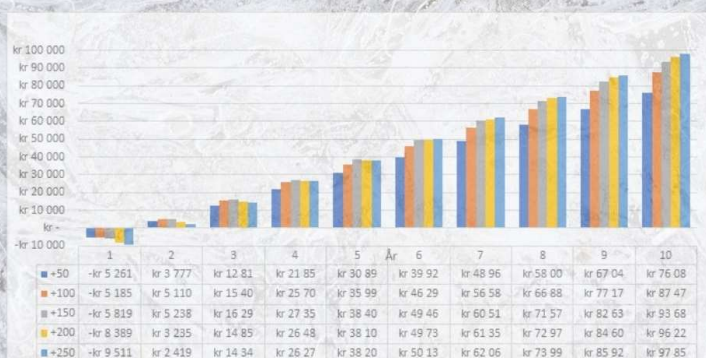
Analyse av effekt- og energibruk i badstue



Finsk sauna er det de fleste tenker på når det kommer til badstue. Men hvor mange tenker på energibruket til en badstue.

I denne oppgaven er det logget og undersøkt en badstue i Bodø spektrum, for å kartlegge energibehovet.

- Termiske bilder er tatt for å se på svakheter i konstruksjonen og finne temperaturer på objekter
- Det er sett på styringer av badstuen, hvor lang tid trenger den på oppvarming, når skrues den på og hvordan gjøres dette.
- Det er gjort simuleringer i Simien med forskjellige isolasjonsmengde for å få et innblikk i forskjellen på energibehovet.
- Anbefalte tiltak er lagt fram, kostnader knuttet til tiltakene, og laget en nedbetalingsoversikt.



Student:
Anders Kristiansen

Veileder:
Bjørn Aas, SIAT

Vedlegg 3, Bilder tatt under befaring



Foto 1 Bilde tatt av taket dampbadet, ingen isolasjon

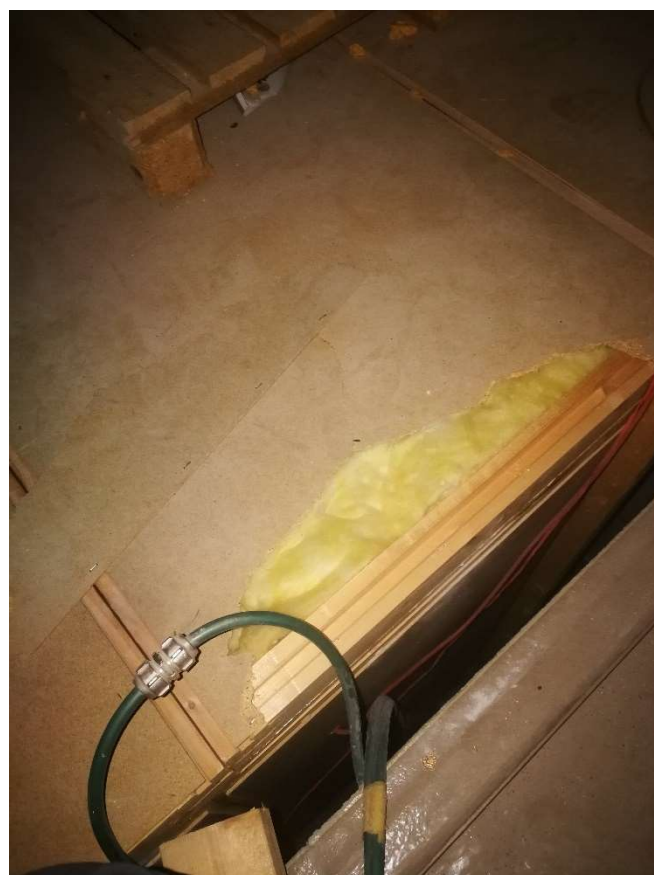


Foto 2 Viser taket til Finsk sauna, 50mm mineralull



Foto 3 Termisk foto av dampbadet uten isolasjon. Har samme temperatur på innsiden som utsiden.



Foto 6 Bilde av Spektrum Velvære, sett mot badstuene

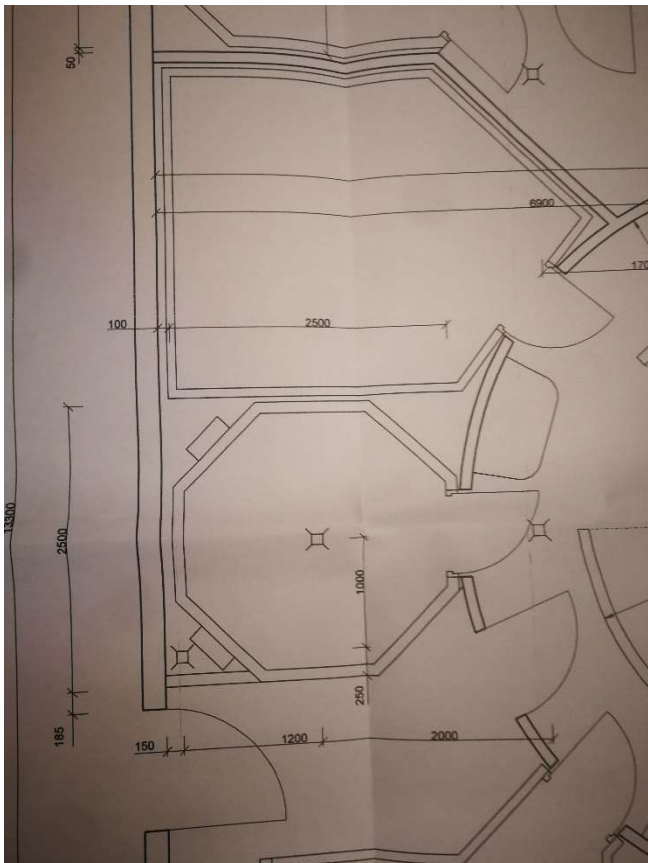


Foto 4 Plantegning av den finske saunaen og saltvannskabinen

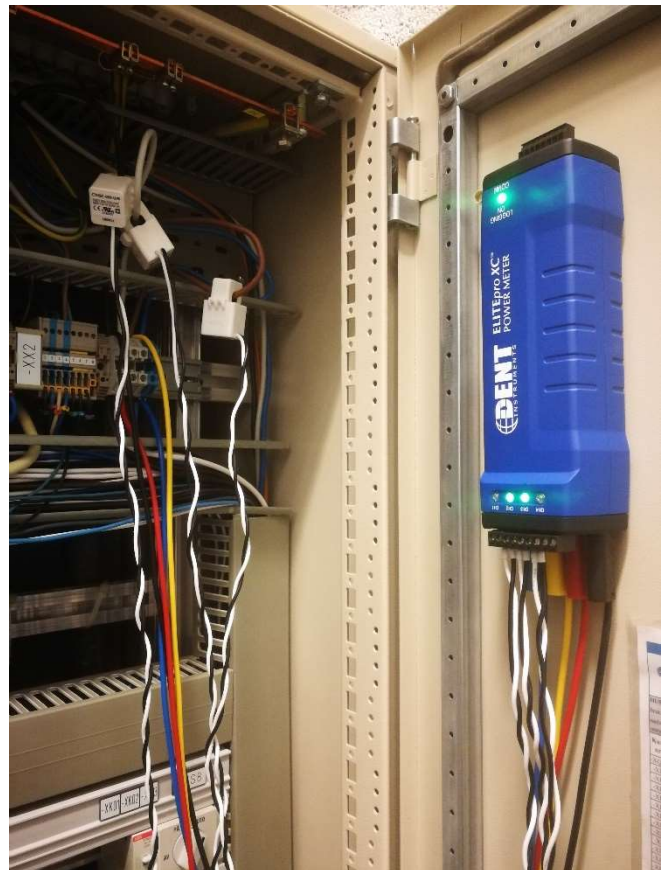


Foto 5 viser elite pro under logging av badstuen