



Oppgavens tittel: Svømmehaller og krav til energieffektivitet Indoor swimming pools and requirements for energy efficiency	Dato: 11.07.2010 Antall sider (inkl. bilag): 67		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Martin Nerhus Øen			
Faglærer/veileder: Arvid Dalehaug			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Bjørn Åge Berntsen, Senter for idrettsanlegg og teknologi NTNU, Bjørn Aas, Rådgiver energi og miljø Asplan Viak			

Svømmehaller skiller seg fra andre bygningstyper med høy temperatur og luftfuktighet innendørs. Den høye innnetemperaturen, forbruket av varmtvann og fordampning fra bassenget fører til et høyt energibruk. Målet med denne rapporten er å finne energibrukskrav til TEK basert på statistikk fra eksisterende svømmehaller og egne beregninger for et typisk opplæringsbasseng.

Statistikk for svømmehaller i drift viser at det gjennomsnittlige energibruket ligger rundt 500 kWh/m² BRA eller mellom 3000 og 4000 kWh/m² bassengareal. Siden bassenget er hovedfunksjonen, og siden størrelsen på dette er avgjørende for det totale energiforbruket, vil det være mest fornuftig å oppgi det spesifikke energibruket per bassengareal.

For å finne oppnåelige energibrukskrav, er det gjort beregninger i energiberegningsprogrammet Simien, som tar utgangspunkt i den dynamiske metoden beskrevet i NS 3031. Det tas utgangspunkt i et 12,5 m opplæringsbasseng med størrelser og areal som gitt av Norges Svømmeforbund.

For opplæringsbassenget bygget etter TEK-2010krav, med moderne kjøleteknisk avfukting av romluften og varmegjenvinner på gråvannet, blir det årlige energiforbruket 1825 kWh/m² bassengareal. Ved å utbedre en bygningsdel av gangen, og ved å sammenligne innsparingen med den økte investeringskostnaden, ble det funnet at det er lønnsomt å redusere U-verdien til vinduene fra 1,2 til 0,7 W/m²K, redusere U-verdien til veggene fra 1,8 til 1,5 W/m²K, og å øke byggets tetthet n₅₀ fra 1,5 til 1,0 luftskifter/time. Det er ikke funnet lønnsomt å isolere taket og gulvet ut over det som er påkrevd i dagens krav. Det resulterende årlige energibruket for opplæringsbassenget med de anbefalte utbedringene ble 1780 kWh/m² bassengareal.

Det er også undersøkt effekten av å isolere inspeksjonsgangen som går rundt bassenget. Med 50 til 100 mm isolasjon kan det årlig spares rundt 20 kWh/m² bassengareal.

Beregningene er gjort for et 25 meters opplæringsbasseng, og det resulterende energibruket ble like over 1600 kWh/m² bassengareal. Energibrukskrav basert på resultatene fra det minste bassenget vil derfor være oppnåelige også for større svømmehaller.

Stikkord:

1. Svømmehaller
2. Energibruk
3. Teknisk forskrift
4. Energibrukskrav

(sign.)

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet ved institutt for bygg, anlegg og transport ved NTNU våren 2010. Oppgaven er avsluttende arbeid i sivilingeniørstudiet i bygg- og miljøteknikk innen fordypningen bygnings- og materialteknikk.

Jeg vil takke min veileder Arvid Dalehaug for god hjelp og veiledning gjennom arbeidet med oppgaven. Videre vil jeg også takke Bjørn Åge Berntsen ved Senter for idrettsanlegg og teknologi for å skaffe til veie informasjon og bakgrunnsstoff om svømmehaller, og Bjørn Aas hos Asplan Viak for å bidra med oppdatert kunnskap om bygging og drift av svømmehaller samt verdifull kunnskap om teknisk utstyr i svømmehaller. Til sist vil jeg takke mine medstudenter Simen Tovmo og Erland Sveipe som har vært gode diskusjonspartnere og støttespillere gjennom prosjektets utarbeidelse.

Trondheim, 11.06.2010

Martin Nerhus Øen

SAMMENDRAG

Svømmehaller er en spesiell bygningstype, som med høy innendørs temperatur og luftfuktighet, skiller seg fra andre bygninger som boliger og kontorbygg. Den høye innetemperaturen, forbruket av varmtvann, og fordampning fra svømmebassenget fører til et stort energiforbruk. Svømmehaller er ikke gitt egne krav i Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK), til tross for at energiforbruket kan være tre ganger høyere enn kravene gitt for idrettshaller. Målet med denne rapporten er å finne fornuftige energibrukskrav basert på statistikk fra eksisterende svømmehaller og egne beregninger av energibruk for et typisk opplæringsbasseng.

Energirammekrav for svømmehaller kan oppgis på to måter, enten som energibruk per bruksareal (BRA) eller som energibruk per bassengareal. Siden det er bassenget som er hovedfunksjonen i svømmehallen, og siden størrelsen på dette er svært avgjørende for det totale energibruket, vil det for svømmehaller være mest fornuftig å oppgi kravet som energibruk per bassengareal.

Statistikk fra svømmehaller i drift viser at det gjennomsnittlige energibruket ligger rundt 500 kWh/m² BRA eller 4000 kWh/m² basseng. Statistikken viser også at danske svømmehaller har et litt lavere energiforbruk med rundt 3000 kWh/m² basseng selv etter at tallene er temperaturkorrigert til Oslo klima.

For å finne oppnåelige energibrukskrav er det gjort beregninger ved hjelp av energiberegningsprogrammet Simien. Dette programmet tar utgangspunkt i den dynamiske metoden beskrevet i NS 3031, og finner årlig forbruk ved å summere opp simulerte effektbehov med et tidsintervall på 15 minutter. Beregningene er gjort for et 12,5 meter langt opplæringsbasseng, med svømmehall og dusj- og garderobeanlegg dimensjonert etter kravene gitt fra Norges Svømmeforbund. For å undersøke hva som påvirker det totale energibruket er det gjort beregninger med forskjellige tekniske løsninger knyttet til varmtvann og ventilasjon, og med varierende U-verdier på konstruksjonsdelene.

Som utgangspunkt i beregningene brukes svømmehallen bygget etter TEK-2010-krav med friskluftsavfukting på romluften. Det årlige energiforbruket er nesten 2800 kWh/m² bassengareal. At det ligger på nivå med det reelle forbruket til svømmehallene i statistikken, viser at beregningene er rimelige og pålitelige. Resultatene viser at fordampning fra bassengvannet og oppvarming av vann til dusjene er de største energislukene i svømmehallen. Ved å benytte moderne teknisk utstyr for varmegjenvinning fra gråvannet og kjøleteknisk avfukting av romluften, vil det årlige energibruket reduseres til 1825 kWh/m² bassengareal. Grunnet den store reduksjonen dette gir i energiforbruket må dette utstyret betraktes som påkrevd.

Videre er U-verdien til de forskjellige bygningsdelene utbedret en av gangen. Dette fører til en ekstra investeringskostnad knyttet til økte isolasjonstykkelser, bedre vinduer og økt tetthet. Lønnsomheten til de forskjellige tiltakene er vurdert ved å nåverdiberegne de årlige innsparingene det reduserte energiforbruket gir, og sammenligne dette med den økte investeringskostnaden. Det ble funnet at det er lønnsomt å redusere U-verdien til vinduene fra 1,2 til 0,7 W/m²K, redusere U-verdien til ytterveggene fra 0,18 til 0,15 W/m²K, og å øke byggets tetthet fra n₅₀ lik 1,5 til 1,0 luftskifter per time. Basert på antagelsene gjort i denne oppgaven er det ikke lønnsomt å isolere taket og gulvet ut over det som er påkrevd i dagens krav. Det

resulterende energibruket etter at de lønnsomme tiltakene var utført ble 1780 kWh/m² bassengareal.

Rundt svømmebassenget går det en inspeksjonsgang som grunnet varmestrømmer fra svømmehallen og bassenget holder en mye høyere temperatur enn det som er påkrevd for at den vanlige driften skal fungere. Det er undersøkt effekten av å isolere bassengveggene og etasjeskilleren mellom svømmehallen og inspeksjonsgangen. Med 50 til 100 mm isolasjon kan det årlig spares rundt 20 kWh/m² bassengareal. Siden dette ikke er i kommersielt bruk i dag blir det ikke satt som et krav å benytte dette før ytterligere undersøkelser er utført.

For å undersøke hvor representative resultatene for 12,5-metersbassenget er for større svømmehaller, er beregningene gjentatt for en større svømmehall med et 25-metersbasseng. Det resulterende energibruket ble nå like over 1600 kWh/m² bassengareal, altså rundt 10 % lavere enn for 12,5-metersbassenget. Energibrukskravene basert på resultatene fra det minste bassenget vil derfor være oppnåelige også for større svømmehaller.

Nøyaktigheten til resultatene er undersøkt ved å variere størrelsen til antagelser som dusjtid per bruker, vannforbruk per dusj og åpningstiden til anlegget. Variasjonen i antagelsene gir størst utslag i beregningene for svømmehallen hvor det ikke er varmegjenvinner på gråvannet og kjøleteknisk avfukter på bassenglufte. For svømmehallen utført med de gitte anbefalingene vil derfor resultatene være rimelig pålitelig.

ABSTRACT

Indoor swimming pools are a special building category, which due to high temperature and moist air is different from other buildings such as residential houses and offices. The high indoor temperature combined with evaporation from the pool results in a high consumption of energy. Indoor swimming pools are not given any specific rules in the Technical Regulations under the Planning and Building Act (TEK), even though the consumption of energy can be three times that given for sports centers. The aim of this report is to find requirements regarding the consumption of energy for indoor swimming pools.

The requirements regarding energy consumption in indoor swimming pools can be given in two ways; per available area, or per pool area. As the pool is the most important part of the facility, and as the size of it is crucial for the total energy use, it will be most appropriate to give the requirements per pool area.

Statistics from running indoor swimming pools show that the average energy consumption is about 500 kWh/m² available area or 4000 kWh/m² pool area. The statistics is also showing that Danish swimming pools are using slightly less energy, with a consumption of 3000 kWh/m² pool, even after that the numbers have been corrected for the climate difference between Oslo and Denmark.

With the use of the energy computation computer program Simien, estimates are done to find an achievable limit for energy consumption in indoor swimming pools. The calculations are done for a 12,5 meter pool with the surrounding building as described in the guideline given by the Norwegian Swimming Federation. It is done calculations with different technical solutions regarding water heating and ventilation, and different U-values for the building envelope to evaluate the factors influencing on the total energy consumption.

For the initial calculations the indoor swimming pool is made as stated by TEK-2010 with the use of ventilation to dehumidify the air. The annual energy consumption is almost 2800 kWh/m² pool area. The fact that it is in the same range as the pools in the statistics show that the computation model is reasonable and reliable. The results are showing that evaporation and heating of water is responsible for the greatest use of energy. By using modern technical equipment for heat recovery and dehumidification of the air, the annual energy consumption can be reduced to 1825 kWh/m² pool area. This equipment must be regarded as essential as it is giving such a great reduction.

The U-values of the different parts of the building envelope is varied one at a time. This results in an increase in the investment cost due to greater insulation thicknesses, more expensive windows and greater air tightness. The profitability of each effort is assessed by using present value to compare the annual energy savings with the increased investment. It was found to be profitable to decrease the U-value of the walls from 0,18 to 0,15 W/m²K and the windows from 1,2 to 0,7 W/m²K, and to increase the air tightness from n₅₀ equal 1,5 to 1,0 air changes per hour. It is not profitable to reduce the U-value for the roof and the floor based on the assumptions made in this report. The resulting energy consumption after performing the profitable efforts is reduced to 1780 kWh/m² pool area.

There is a passage for inspection surrounding the swimming pool, that due to the heat flow from the hall and the swimming pool are holding a greater temperature than necessary for the

intended use. The effect of insulating the pool walls and the ceiling of the passage is investigated. With an insulation layer of 50 to 100 mm the annual reduction in energy consumption can be reduced with about 20 kWh/m² pool area. It will not be set as a demand to perform this action as the technique is not commonly used. Further studies should be performed.

The calculations are repeated for a 25 meter pool, to investigate the impact of the swimming pool size on the energy consumption per pool area. The annual consumption for the larger pool became just above 1600 kWh/m² pool area, about 10 % less than that for the 12,5 meter pool. The requirements given based on the results from the smaller pool will therefore be achievable for larger indoor swimming pools.

The accuracy of the results are investigated by varying the assumptions like shower time per user, water usage per shower and opening hours for the swimming pool. The variation is giving the greatest effect for the pool hall without heat recovery on the spill water and dehumidification on the ventilation air. The results must therefore be regarded as reasonable for the swimming pool performed with the recommendations given.

INNHold

1	Innledning	1
1.1	Formålet med rapporten	1
1.2	litteratursøk	1
1.3	Rapportens oppbygging.....	1
1.4	Begrensninger	2
2	Bygningstypen Svømmehall.....	3
2.1	Bassengkonstruksjonen.....	3
2.2	Inneklima	3
2.3	Brukere	4
2.4	Bygningskroppen.....	4
2.5	Ventilasjon i svømmehallen og tilstøtende rom	5
3	Teknisk forskrift (TEK)	7
3.1	Oppbygging av forskriften	7
3.1.1	Energiltaksmetoden.....	7
3.1.2	rammekravmetoden	8
3.2	TEK for svømmehaller	8
4	Energibruk i eksisterende svømmehaller	9
4.1	Bygningsnettverkets energistatistikk	9
4.2	Teknologisk institut - statistikk for danske svømmehaller.....	12
5	Beregning av energibruksbehov	15
5.1	Simien	15
5.2	Svømmehall.....	15
5.2.1	Oppvarming av bassengvann	16
5.2.2	Varmekapasitet bassengvann	17
5.2.3	Fordampning av bassengvann.....	17
5.2.4	Varmestrømmer mellom bassengvann og romluft	19
5.2.5	Varmestrømmer fra bassengvann til inspektørganger	19
5.2.6	Ventilasjon og avfukting av bassenglufte	19
5.2.7	Bassengovertrekk	21
5.2.8	Bygningsdeler	22
5.3	Dusj	23
5.3.1	Vannbruk til dusjing.....	24
5.3.2	Ventilasjon av dusjlufte.....	24

5.4	Garderobe	24
5.4.1	Vannbruk.....	24
5.4.2	Ventilasjon i garderoben.....	25
6	Resultater fra beregninger i Simien.....	27
6.1	Tekniske tiltak.....	27
6.2	Tiltak på bygningskroppen.....	28
6.2.1	Vinduer	28
6.2.2	Vegger	30
6.2.3	Tak.....	32
6.2.4	Tetthet	33
6.2.5	gulv på grunnen	33
6.3	Isolering av inspeksjonsgangene	34
6.3.1	Lønnsomhet av isolering av inspeksjonsgangen.....	35
6.4	Størrelse på basseng og svømmehall.....	36
6.5	Feilkilder	38
6.5.1	Usikkerhet i antagelsene.....	38
6.5.2	Åpningstiden til anlegget.....	39
7	Konklusjon	41
7.1	Konklusjon.....	41
7.2	Forslag til TEK-krav.....	41
7.3	Videre arbeid	42
8	Kilder.....	45
	Bilag.....	47
A.	Beregning av energibruk i svømmehallen	47
A.1	Oppvarming bassengvann.....	47
A.1.1	Sirkulasjonvann	47
A.1.2	Oppvarming bassengvann.....	48
A.2	Varmekapasitet bassengvann.....	49
A.3	Fordampning bassengvann	49
A.4	Ventilasjon svømmehall.....	50
A.4.1	Friskluftsavfukting av romluften.....	50
A.4.2	Ventilasjon basert på minstekrav til friskluft.....	50
A.5	Oppvarming av vann til dusj	51
A.6	Ventilasjon av dusjer	52
A.7	Nåverdiberegning av innsparing og tilleggsinvestering.....	52

Vedlegg.....	53
A. Utforming av svømmehallen.....	53
B. Oppgavetekst.....	55

1 INNLEDNING

1.1 FORMÅLET MED RAPPORTEN

Som bygningstype har svømmehaller et varmt og fuktig innelima, kombinert med et stort forbruk av varmt vann, noe som fører til et høyt energibehov. I reglene gitt i Tekniske forskrift til plan- og bygningsloven (TEK) er det ikke gitt noen energibrukskrav spesielt for svømmehaller, til tross for at det typiske forbruket ligger rundt tre ganger verdien for kategorien *idretshaller*, som er den mest nærliggende bygningstypen å sammenligne med. Formålet med denne rapporten er å finne fornuftige energibrukskrav basert på (1) statistikk fra eksisterende svømmehaller og (2) beregninger av energibruk i et typisk opplæringsbasseng.

1.2 LITTERATURSØK

Innledningsvis ble det utført et litteratursøk både i biblioteksdatabase Bibsys Ask, og i de vitenskapelige databasene NTNU har tilgang til. Søkeordene som hovedsakelig ble brukt var 'indoor swimming pool'.

Databasen Science Direct (Elsevier) ga flest relevante resultater. Det er mange gamle artikler, og spesielt på 80-tallet ble det publisert mye arbeid om svømmehaller. Av norsk litteratur er det Byggforsk sin publikasjon Håndbok 52 Bade og svømmeanlegg (Bøhlerengen 2004) som er den beste og mest omfattende. Forgjengeren til Håndbok 52 er Byggforsk sin Rapport 96 Svømmehaller utgitt i 1985, som er en gjennomgang av datidens erfaringer og skadeproblemer. I tillegg er det gitt spesifikasjoner fra Norges Svømmeforbund og fra regjeringen med funksjonskrav til svømmehaller. I Danmark har Dansk Svømmebadsteknisk Forening gitt ut boken Energiteknik i svømmehaller (1992), som er en god publikasjon, men dessverre til dels utdatert grunnet alderen.

1.3 RAPPORTENS OPPBYGGING

Først i rapporten er det i kapittel 2 gitt en kortfattet beskrivelse av svømmehaller som bygningstype. Det beskrives hva som er spesielt for svømmehaller, og hva som skiller dem fra andre mer vanlige bygningstyper som kontorbygg og boliger. Siden oppgaven er ment å skulle konkludere med energibrukskrav som kan brukes i TEK, er det i kapittel 3 gitt en gjennomgang av forskriftens oppbygning, og de relevante regler som der er gitt for andre bygningstyper. Videre presenteres det i kapittel 4 statistikk for energibruket i et utvalg svømmehaller. Dette er data hentet fra Enova sin byggstatistikk, og fra Teknologisk Institut sin statistikk for danske svømmehaller. Det diskuteres også her forskjellige måter å oppgi det spesifikke energibruket på, henholdsvis i kWh per bruksareal (BRA) og bassengareal.

I kapittel 5 er det definert et typisk opplæringsbasseng med standardiserte verdier knyttet til drift og oppbygging av bygningen. Det er her beskrevet grunnlaget for beregningene hvor resultatene er presentert i kapittel 6. Resultatene beskrives og forklares etter hvert som de presenteres. De forskjellige tiltakene som har innvirkning på energiforbruket er i tur og orden presentert, og virkningen av hvert tiltak er her vist i diagrammer. Det er også diskutert unøyaktighet og mulige feilkilder i de presenterte beregningene.

Avslutningsvis er det i kapittel 7 en samlende konklusjon med oppsummerte forslag til TEKkrav for svømmehaller.

1.4 BEGRENSNINGER

Beregningene i denne rapporten er begrenset til to størrelser og utførelser av et opplæringsbasseng. For begge utførelsene er det en høy arealandel bassengoverflate. Det er ikke inkludert andre funksjoner, som for eksempel badstue som vil føre til et høyere energiforbruk, eller vannattraksjoner og fontener, som vil øke fordampningen.

2 BYGNINGSTYPEN SVØMMEHALL

Den høye temperaturen og luftfuktigheten innendørs kombinert med vann i omløp gjør svømmehaller til en spesiell bygningstype. Med de strenge kravene til ventilasjonen og alle pumpene til vannet, er en svømmehall på mange måter mer et system enn en bygning.

2.1 BASSENGKONSTRUKSJONEN

Det mest karakteristiske i en svømmehall er selve bassenget. Med store mengder vann blir det påført betydelige statiske laster. For å motstå vanntrykket er den vanligste konstruksjonsformen plasstøpt, slakkarmert betong av vanntett kvalitet. Vanntettheten er viktig for å hindre lekkasjer, men også for å sikre at det klorholdige vannet ikke får trenge inn og korrodere armeringsstålet. Vanntettheten oppnås enten ved hjelp av en god betongresept, eller ved hjelp av en membran som påføres bassengets innside (Bøhlerengen m. fl. 2004).

Betongstandarden NS 3473 (2003) angir at svømmebasseng skal bygges i bestandighetsklasse M40 eller MF40 for å oppnå tilstrekkelig vanntetthet. Samtidig bør det brukes en selvkompimerende betongkvalitet som vil gi en tett støp med mindre sannsynlighet for skader og steinreir.

Som bassengets synlige slitelag er det vanligst å bruke keramiske fliser.

2.2 INNEKLIMA

76 % av alle byggskaader i Norge kommer som en følge av fukt (Byggforsk 2008a). I svømmehaller hvor det kreves en høy temperatur inne, kombinert med at bassengvannet fører til en høy relativ fuktighet i luften, vil det være stor fare for fuktrelaterte problemer og skader.

På samme måte som at brukernes krav til lufttemperatur i boliger og kontorbygg har økt de siste tiårene, kreves det høyere temperaturer også i vannet i svømmebasseng. For å begrense avdampningen fra bassenget, og for å sikre komforten til brukerne, anbefales det at lufttemperaturen ligger to grader over vanntemperaturen (Byggforsk 2003a). Hvis lufttemperaturen blir kaldere i forhold til vanntemperaturen vil luften bli tyngre enn den mettede luften som ligger like over vannspeilet, og kontinuerlig skifte denne ut med tørrere luft (Dansk Svømmebadtenisk Forening 1992). Dette vil øke fordampningen kraftig.

Tabell 1 - Krav til vanntemperatur fra Norsk Svømmeforbund (Byggforsk 2003a)

Kategori, basseng	Krav til vanntemperatur
Opplæringsbasseng	28 – 34 °C, må kunne varieres
Spesialbasseng til babysvømming	33 °C
Svømmebasseng	26 – 29 °C
Trenings- og konkurransebasseng	26 – 27 °C
Stupebasseng	26 – 32 °C, 30 °C er foretrukket
Badelandsbasseng	28 – 34 °C
Boblebad	37 – 40 °C
Varmtvannsbasseng	30 – 34 °C
Varmtvannsbasseng < 20m ²	34 – 37 °C
Vannpolo	24 – 26 °C
Synkronsvømming	26 – 27 °C

Basert på temperaturkravene gitt i Tabell 1 er det for de fleste svømmehaller vanlig å bruke en vanntemperatur på 28 – 29 °C som et passende kompromiss for alle brukergruppene. Dette fører til at lufttemperaturen i de fleste svømmehaller vil bli liggende i overkant av 30 °C, altså 10 °C varmere enn i vanlige boliger og kontorbygg.

Avdampning fra svømmebassenget fører til at det blir høy relativ fuktighet (RF) i luften i svømmehallen. Bøhlerengen m.fl. (2004) anslår at den typiske RFen i norske svømmehaller ligger mellom 50 og 60 % året rundt. Til sammenligning anbefales det i boliger en RF mellom 20 og 40 % gjennom vinteren, som er den mest utsatte årstiden for fuktskader (Edwardsen m.fl. 2007).

Høy temperatur kombinert med fuktig luft gir gode vekstforhold for mugg, sopp, husstøvmidd og andre mikroorganismer (Byggforsk 1992). Avdamping av klor fra bassenget kan føre til stikkende lukt og irritasjon i øyne og slimhinner (Bøhlerengen m.fl. 2004). Disse to faktorene gjør at det kreves et godt ventilasjonssystem for å holde luftforurensningen på et tilfredsstillende nivå for brukerne, og spesielt for de med kroniske sykdommer som f.eks. astma.

2.3 BRUKERE

Brukerne av svømmehaller kommer fra alle grupper i befolkningen, fra skolebarn til pensjonister. Anlegget blir derfor utsatt for tøffe belastninger, og er også utsatt for direkte hærverk. Robuste løsninger som ikke lar seg ødelegge er derfor en nødvendighet. Tidligere var det et problem med hærverk på rørføringer til dusjer og vasker som lå utenpå veggen (Bringe 1985), men med dagens skjulte løsninger med rør inni veggen er dette problemet til dels eliminert.

For å redusere vannrense- og kloringsbehovet er det viktig at brukerne dusjer tilstrekkelig før de går i vannet. Spesielt blant skolebarn kan dette være vanskelig å få til.

2.4 BYGNINGSKROPPEN

Det ekstreme inneklimate i svømmehaller stiller spesielle krav til bygningskroppen. Duggpunkttemperatur er den temperaturen som luften må kjøles ned til før den begynner å kondensere. I svømmehaller med et varmt og fuktig inneklimate vil vanndampen kondensere allerede ved overflatetemperaturer over 20 °C (Bøhlerengen m.fl. 2004). Dette innebærer en stor sannsynlighet for overflatekondens på innsiden av vinduer og ved kuldebroer i konstruksjonen. For å unngå dette er det påkrevd med godt varmeisolerte konstruksjoner med lave U-verdier.

Det høye damptrykket innendørs fører til at det gjennom hele året vil være et diffusjonspotensial av vanndamp utover i bygningskroppen. Denne vanndampen vil kondensere hvis den blir tilstrekkelig avkjølt. For å unngå dette bør derfor klimaskallet være forseglet med en tett dampsperre på varm side, slik at vanndampen ikke får trenge utover i vegger og tak og avkjøles til kondens.

Likevel er en annen og vel så viktig egenskap for dampspærren at den fungerer som et lufttettende sjikt. Fukttransport ved konveksjon kan være i størrelsesorden 50 ganger mer effektivt enn ved diffusjon, og således utgjøre et større problem (Geving, Thue 2002). Hull og skader i dampspærren vil føre til at forskjellen i lufttrykk mellom inne og ute presser fuktig luft utover i konstruksjonen. Grunnet oppdriftseffekten til varm luft vil denne drivkraften være

størst i taket og ved øvre del av veggen. På kald side av vegger og tak vil en vindsperre i papp bidra til å begrense luftlekkasjene. Tette bygninger er viktig også for bolig- og kontorbygg, men det ekstreme inneklimate i svømmehaller gjør at det her må legges enda større vekt på feilfri utførelse. Selv små luftlekkasjer, som spikerhull i dampspærren, kan føre til at store mengder fukt vil kondensere.

For å opprettholde den høye inne Temperaturen gjennom vinteren kreves det en godt isolert bygningskropp. Med en høyere temperaturgradient over klimaskallet bør svømmehaller ha en bedre U-verdi enn bolig- og kontorbygg, og også bedre enn idrettsbygg, slik det blir klassifisert som i TEK-2010. Det stilles krav til energieffektivitet for 13 forskjellige bygningstyper, og til tross for at svømmehall er en svært spesiell bygningstype, er det ikke gitt egne krav for denne.

2.5 VENTILASJON I SVØMMEHALLEN OG TILSTØTENDE ROM

I en svømmehall skal ventilasjonsanlegget bidra til at luftfuktigheten holdes på et nivå som ikke fører til skadelige fukt og råteskader i bygningskroppen.

Faren for overflatekondens er størst i innvendige hjørner, rundt vinduer og andre plasser hvor luften blir stående stille og får tid til å kjøles ned til veggens overflatetemperatur (Geving, Thue 2002). Her vil det bli en større innvendig overgangsmotstand, R_{si} , og veggen vil bli kaldere i disse områdene enn i åpnere områder med mer luftsirkulasjon. Når veggen blir tilstrekkelig kald vil den kjøle ned den tilstøtende luften til duggpunkttemperaturen og kondens vil oppstå. I moderne bygninger er dette problemet mest aktuelt ved kuldebroer og på innsiden av vinduer.

For å motvirke overflatekondens må ventilasjonen utføres på en måte som bstryker vindusflater med frisk tilluft. Hvis man i tillegg unngår bruk av gardiner og innvendige persiennner, og er forsiktig med bruk av akustiske lydabsorbenter, vil det bli god sirkulasjon av luft over de kritiske delene av bygningen og overflatekondens unngås.

Som et sikkerhetstiltak mot kondens inni konstruksjonsdelene benyttes undertrykksventilasjon (Bøhlerengen m.fl. 2004). Ved å ventilere svømmehallen slik at det inne blir lavere lufttrykk enn utendørs og i tilstøtende rom, vil luftstrømmene gjennom lekkasjer gå utenfra og inn. Dette forhindrer den fuktige inneluften fra å strømme utover i vegg- og takkonstruksjonen hvor det kan kondensere. I perioder med kald og tørr uteluft vil det også bidra til å tørke opp de plassene hvor lekkasjer tidligere har ført til kondens.

Når store mengder inneluft skal skiftes ut i ventilasjonssystemet går det med en del energi til å varme opp den friske tilluften. For å redusere dette energibehovet brukes det varmegjenvinnere som fører den varme avkastluften parallelt med den kalde tilluften, og på denne måten overføres deler av varmeenergien. Dette er beskrevet mer utfyllende i avsnitt 5.2.6.

3 TEKNISK FORSKRIFT (TEK)

Plan- og bygningsloven gir overordnede krav til planlegging og gjennomføring av byggevirksomhet i Norge. De mer detaljerte bestemmelsene for hvordan Plan- og bygningsloven skal innfris er gitt i Teknisk forskrift (TEK) som inneholder funksjons- og ytelseskrav og noen detaljbestemmelser. Det er stort sett opp til utbygger å påvise at valgte løsninger oppfyller kravene i TEK. Dette gjør at regleverket er fleksibelt til å oppfylles med forskjellige materialer og teknikker, og at det ikke trenger å endres etter hvert som det lanseres nye løsninger og måter å bygge på. Med en slik måte å gi reglene på vil man kunne bruke nye gode og brukervennlige løsninger selv om de avviker fra den gamle tradisjonelle metoden og oppbygningen.

Den gjeldende revisjonen av TEK ble utgitt 26. januar 2007, men trådte først i kraft 1. august 2009 etter en overgangsperiode hvor det var valgfritt å bygge etter den gamle eller den nye forskriften. Våren 2010 er det imidlertid kommet enda en revisjon av forskriftene med ikrafttredelse den 1. juli 2010. For energikapitelet er det bare gjort mindre endringer, og det vil i det følgende refereres til den nyeste versjonen av forskriften da denne vil være gjeldende like etter ferdigstilling av denne masteroppgaven.

3.1 OPPBYGGING AV FORSKRIFTEN

I forskriftens § 14 er det gitt krav til energieffektivitet i bygninger (TEK-2010). Det overordnede målet er at *"Byggverket skal prosjekteres og utføres slik at lavt energibehov og miljøriktig energiforsyning fremmes"*. Mer spesifikt er det i § 14-3 Energiltak og § 14-4 Energirammer gitt to forskjellige metoder for hvordan dette skal kunne oppnås.

3.1.1 ENERGILTAKSMETODEN

I energiltaksmetoden er det gitt krav til spesifiserte energikvaliteter for de forskjellige bygningsdelene. Det er gitt krav til hvor høy U-verdien til hver enkelt bygningsdel maksimalt kan være. Det er også gitt krav til tettheten til bygget, temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren i ventilasjonen og vifteeffekten i ventilasjonsanlegget. Ved å bruke denne metoden benyttes de samme kravene til alle bygningstyper, og det blir ikke tatt hensyn til hva bygget skal brukes til, og hvilke forhold det er innendørs. De mest aktuelle kravene er gjengitt i Tabell 2. Det er lov å fravike noen av kravene opp til et minstekrav gitt i §14-5, hvis andre tiltak gjør at det totale energibehovet ikke øker. Dette vil si at det for eksempel kan brukes dårligere vinduer hvis det bygges tykkere vegger. Det er ikke gjort noen endringer under denne paragrafen i den nye versjonen av TEK.

Tabell 2 - Energiltak i TEK-2010 § 14-3

Vindus- og dørareal		< 20 % av oppvarmet BRA		
U-verdi		Krav	Minstekrav	Enhet
	Yttervegg	≤ 0,18	≤ 0,22	W/m²K
	Tak	≤ 0,13	≤ 0,18	
	Gulv	≤ 0,15	≤ 0,18	
	Glass/ vindu/ dør inkl. karm/ ramme	≤ 1,20	≤ 1,6	
Normalisert kuldebroverdi	Småhus	≤ 0,03		W/m²K, m² oppgis i oppvarmet BRA
	Øvrige bygninger	≤ 0,06		
Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell	Småhus	≤ 2,5	≤ 3,0	Luftvekslinger per time
	Øvrige bygninger	≤1,5	≤ 3,0	

3.1.2 RAMMEKRAVMETODEN

I rammekravsmetoden er det for 13 forskjellige bygningstyper gitt krav til det høyeste tillatte energiforbruket fordelt på bygningens oppvarmede bruttoareal (BRA). Det er her gjort noen små innskjerpinger av kravene i den nye forskriften, og for oversiktens del er både kravene fra TEK-2007 og TEK-2010 tatt med i Tabell 3. For å oppfylle disse kravene må det legges til grunn beregninger av bygningens energibehov basert på NS 3031. Selv om det her ikke er gitt krav til hver enkelt bygningsdel, skal disse likevel tilfredsstille minstekravene til U-verdi og luftskifter som gitt i § 14-5.

Tabell 3 - Energirammer i TEK-2010 § 14-4. For oversiktens del er kravene fra TEK-2007 tatt med.

Bygningskategori	Totalt netto energibehov (kWh/m ² oppvarmet BRA pr år)	
	TEK-2010	TEK-2007
Småhus	120 + 1600/m ² oppvarmet BRA	125 + 1600/m ² oppvarmet BRA
Boligblokk	115	120
Barnehage	140	150
Kontorbygning	150	165
Skolebygning	120	135
Universitet/ høyskole	160	180
Sykehus	300 (335)	325
Sykehjem	215 (250)	235
Hotell	220	240
Idrettsbygning	170	185
Forretningsbygning	210	235
Kulturbygning	165	180
Lett industri/ verksteder	175 (185)	185

(Kravene i parentes gjelder for arealer der varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensning/smitte.)

3.2 TEK FOR SVØMMEHALLER

Svømmehaller som bygningstype passer ikke særlig godt inn i regelverket for energibruk. Det vil være relativt enkelt å oppfylle kravene gitt til energiltak, men dette vil ikke være tilstrekkelig streng lovgivning for bygg med så spesielt innneklima som det er i svømmehaller. Høy innnetemperatur kombinert med energikrevende oppvarming av vann til basseng og dusjer gir et energiforbruk på over 500 kWh/m² BRA, altså det tredobbelte av kravet til idrettsbygg (§ 14-3).

Basert på bruk vil den mest nærliggende kategorien for en svømmehall være *Idrettsbygning*. Hvis man derimot ser på kompleksiteten til bygningen vil det være mer fornuftig å kategorisere den som et sykehus. Det er likevel ingen av disse to bygningskategoriene som er dekkende. I en vanlig idrettsbygning vil innnetemperaturen typisk være 10 °C kaldere enn i svømmehallen, og ventilasjonsbehovet vil være lavere. På et sykehus vil kompleksiteten være tilsvarende høy, men her er det drift av medisinsk utstyr og døgntilstandlig drift som gjerne gjør at det er et høyere tillatt energiforbruk enn for andre bygningstyper.

For svømmehaller hvor det største energiforbruket er knyttet til selve svømmebassenget, vil det være mest fornuftig å oppgi det spesifikke energiforbruket som energiforbruk per m² vannflate. I svømmehaller er bassenget den viktigste funksjonen som med sitt areal bestemmer antall brukere, og i stor grad indikerer hvor mye energi som går med til ventilasjon og avfukting av luften. Det vil ikke være fornuftig at bassengets areal skal måtte reduseres og bygningens totale areal skal økes for å tilfredsstille eventuelle forskriftskrav for svømmehaller.

4 ENERGIBRUK I EKSISTERENDE SVØMMEHALLER

Det er flere forskjellige foretak som gir mer eller mindre god statistikk på energibruk i bygninger. I svømmehaller vil faktorer som antall brukere, og forholdet mellom bassengareal og totalt areal være svært utslagsgivende for det faktiske energiforbruket.

Når tekniske data knyttet til energibruk skal samles inn, registreres og sammenlignes vil det oppstå en del usikkerhet i resultatene på grunn av varierende bakgrunn og kompetansenivå til alle de driftsansvarlige som rapporterer inn. Det er vanskelig å vurdere hva som skal inkluderes hvis svømmehallen grenser til andre bygg, eller er en del av et annet bygg. Felles vegger med andre bygg vil redusere varmetapet til transmisjon. Det vil også være tvil knyttet til hvilket areal som skal inkluderes når det spesifikke energibruket oppgis. Rundt bassenget vil det for eksempel være en del oppvarmet areal i inspeksjonsgangene som ikke er nyttet i den daglige driften, men som det like fullt kan være naturlig å dele det totale energibruket på ved utregning av spesifikk energibruk. Statistikkene presentert i det følgende kan derfor ikke sammenlignes i detalj, men må heller brukes som pekepinn på omtrentlige verdier og som en rettesnor på typisk energiforbruk.

4.1 BYGNINGSNETTVERKETS ENERGISTATISTIKK

I Tabell 4 er det gjengitt energibruksdata for svømmehaller fra Enova sin energistatistikk for årene 1999 til 2008. Det er et relativt lite utvalg på mellom syv og ni haller som hvert år utgjør statistikken. Tallene for alle hallene er temperaturkorrigert tilsvarende normalår, og korrigert for geografisk beliggenhet for å bli sammenlignbar med Oslo klima. I rapporten fra 2008 er ikke svømmehaller tatt med som egen bygningstype. Gjennom alle årene svinger det spesifikke energibruket rundt 500 kWh/m², og det er ikke mulig å påpeke en økende eller avtagende trend. Dette skyldes nok at det gjerne er de samme svømmehallene som er inkludert i statistikken fra år til år, og at det er generelt høy usikkerhet i de innrapporterte måleverdiene. Det er heller ikke et langt nok tidsperspektiv til at det skal være rimelig å forvente en endring. Det er verdt å merke seg at elektrisitet er den dominerende energibæreren i svømmehallene, med litt bruk av olje og parafin utenom. Bruken av fjernvarme har imidlertid gjort seg gjeldende i de senere årene.

Tabell 4 - Energibruk i svømmehaller (Enova 1999 - 2008)

	antall bygg	totalt oppvarmet areal	gj.sn. Spesifikk temp.korr. Energibruk kWh/m ²	EL %	Flytende %	Fjernvarme %	Gass %	Biologisk %	Annet %
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	7	37242	507	80,6	5,9	6,7	0	0	6,8
2006	9	27017	497	80,7	4,4	8,9	0	0	6,1
2005	7	15898	467	75,7	3,3	13,6	0	0	7,4
2004	9	23130	551,4	80,8	11,4	7,8	0	0	0
2003	9	23659	503,1	80,4	19,6	0	0	0	0
2002	8	24000	486,5	84,2	15,8	0	0	0	0
2001	12	34900	486,5	88	12	0	0	0	0
2000	13	36000	478,3	84,1	9,4	6,5	0	0	0
1999	13	-	525,8	86,1	8,3	5,6	0	0	0

I Enova sin energistatistikk er bygningene kategorisert etter sitt primære bruksområde, altså at *skoler med svømmebasseng* blir plassert under posten *skoler* snarere enn under *svømmehaller*. I Tabell 5 er det gjengitt gjennomsnittlige tall for spesifikk energibruk for skoler med og uten svømmebasseng. Heller ikke her er det mulig å se noen spesiell trend gjennom årene, sannsynligvis av samme årsak som diskutert over. Ved å sammenligne energibruket til skoler med og uten svømmebasseng vises det at energibruket er opptil 50 % høyere for skolene med svømmebasseng. Det er ikke mulig å trekke noen slutning for hvor høyt energibruket er i selve bassengdelen av dette, annet enn at bassenget fører til et betydelig høyere forbruk av energi.

Tabell 5 - Gjennomsnittlig temperaturkorrigert spesifikk tilført energibruk i grunnskoler (Enova 1999 - 2008)

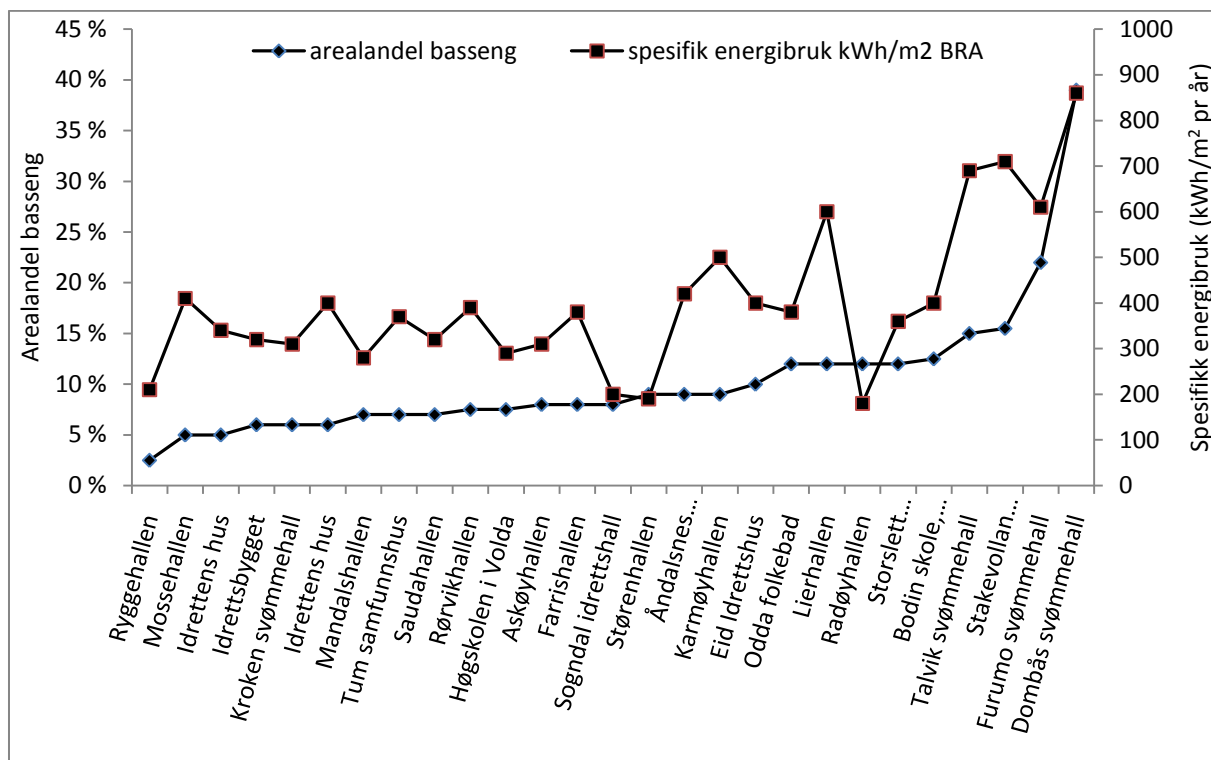
	Grunnskoler uten basseng kWh/m ² BRA	Grunnskoler med basseng kWh/m ² BRA
2008	159	198
2007	168	245
2006	178	275
2005	178	257
2004	172	232
2003	182	222
2002	195	237
2001	191	249
2000	191	254
1999	-	-

I Figur 1a er det gitt en mer interessant framstilling av energiforbruket i et utvalg svømmehaller. Her er det for hver svømmehall plottet både det temperaturkorrigerte energiforbruket og arealandelen til bassenget. Når energiforbruket oppgis i kWh/m² BRA vil det aktuelle arealet til svømmehallen være av like stor betydning som det totale energiforbruket. I en svømmehall hvor en betydelig del av energibruket skriver seg fra prosesser som er knyttet til bassenget og dusjene, vil alt areal utenom virke reduserende på det spesifikke energibruket. I figuren vil det være mulig å sammenligne energibruken med vannflatens areal i de gitte svømmehallene. Ved å dividere 'energiforbruk per totalt areal' på 'bassengareal per totalt areal' står man igjen med 'energiforbruk per bassengareal' som er en interessant faktor å vurdere.

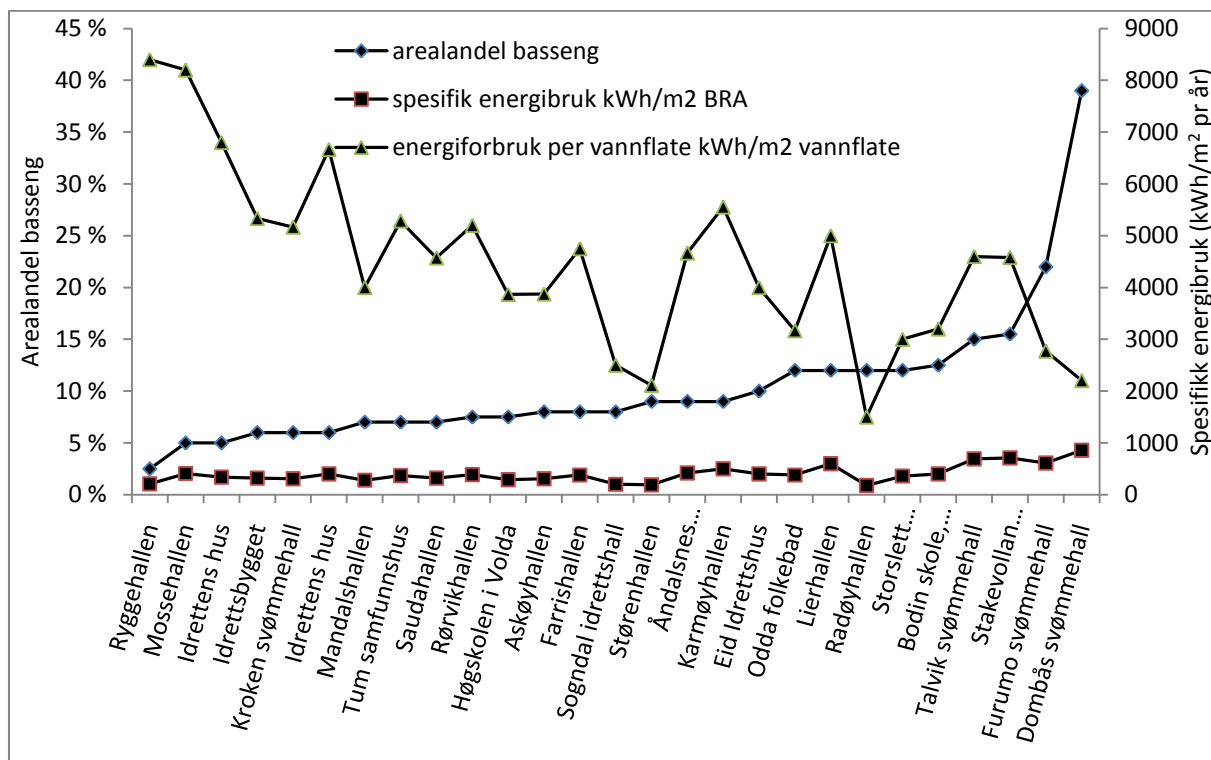
I Figur 1b er forholdet mellom energiforbruk og bassengareal plottet. Det går her tydelig frem at de svømmehallene som i Figur 1a ble fremstilt som energieffektive svømmehaller i praksis bare har et stort areal som energibruket fra bassenget og dusjene fordeles over. Hvis man skulle rangere svømmehallene etter energiforbruk ser man at kurven for energiforbruk per vannflate i Figur 1b gir en stikk motsatt indikasjon sammenlignet med kurvene i Figur 1a.

Hvis man ser på energiforbruk per totalt areal vil Dombås Svømmehall i sammenligningen bli oppfattet som det dårligste bygget i klassen, men hvis man i stedet betrakter energiforbruket per vannflate vil den komme ut som en av de klart beste. Dette skyldes at svømmebassenget utgjør så mye som 40 % av bygningens totale areal, og at det følgelig er lite annet areal å fordele energiforbruket knyttet til vannet på. Siden svømmebassenget er bygningens primære funksjon

vil som nevnt tidligere energiforbruk per vannflate være det mest presise og interessante målet for energibruk.

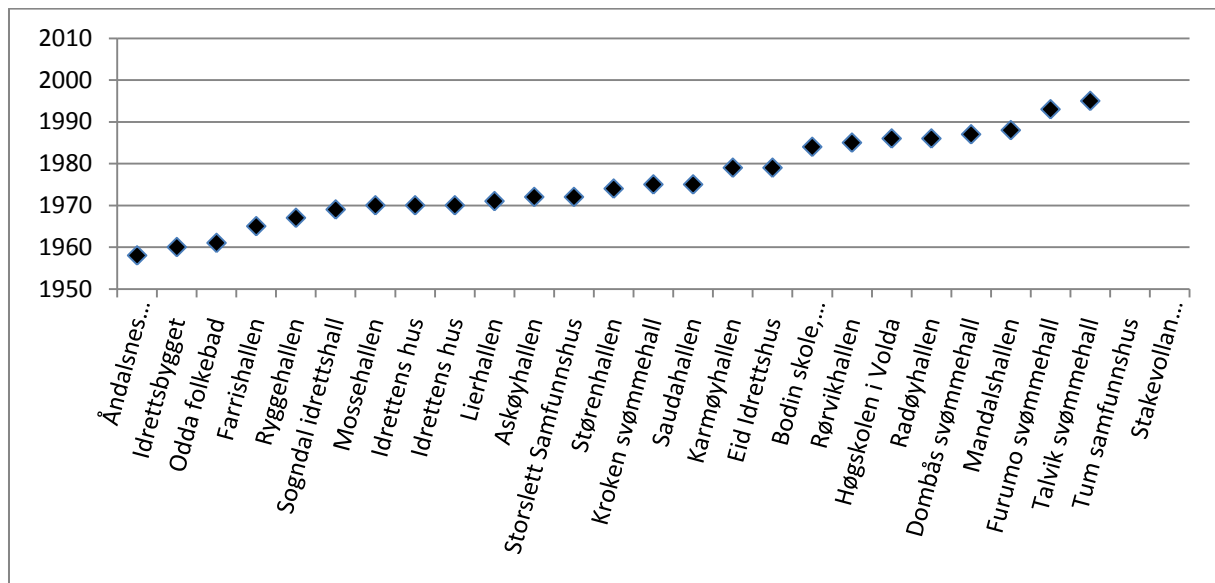


Figur 1a - Energiforbruk og arealandel for utvalgte svømmehaller (Bøhlerengen 2004)



Figur 1b - Energiforbruk per bassengareal, energiforbruk per totalt areal og arealandel basseng for utvalgte svømmehaller. Merk at verdien på høyre loddrette akse er 10 ganger høyere enn samme akse i Figur 1a.

Figur 2 viser aldersfordelingen til svømmehallene i utvalget. Alle svømmehallene som er med i sammenligningen er gamle, og over halvparten er bygget før 1975 (Kulturdepartementet 2010). Det ble bygget mange svømmebasseng på 1960-tallet som et resultat av svært lave svømmeferdigheter blant skolebarn, og at den økende velferden etter krigen ga økonomisk mulighet til nybygging (Bøhlerengen m.fl. 2004). Disse utgjør i dag majoriteten av de norske svømmehallene, og selv om noen er blitt utbedret i de siste årene er det fremdeles en gammel bygningsmasse.



Figur 2 - Byggeår for svømmehallene i utvalget. Tum samfunnshus og Stakevollan var ikke oppført i kulturdepartementets liste over idrettsanlegg (Kulturdepartementet 2010).

4.2 TEKNOLOGISK INSTITUT - STATISTIKK FOR DANSKE SVØMMEHALLER

I Danmark har Teknologisk Institut (2007) gjort en stor undersøkelse av energiforbruket i landets svømmehaller. I Danmark er situasjonen for levert energi til dels annerledes enn i Norge, hvor all vannkraften gir oss tilgang på mye og relativt rimelig elektrisk energi. I Danmark produseres elektrisiteten i stor grad fra forbrenning av kull i kullkraftverk, en prosess som gir et stort overskudd av varmeenergi tilgjengelig til oppvarmingsformål i bygningene. Dette fører til at de er opptatt av å økonomisere forbruket av elektrisitet, men ikke like opptatt av å spare på forbruket av varmeenergi.

Undersøkelsen til Teknologisk Institut er blitt gjennomført ved å sende ut et spørreskjema til alle landets 600 svømmehaller, hvor rundt 100 av de spurte svarte (Bjørn Aas 2010). Tallene utgjør derfor ikke et helt representativt utvalg, og det innrapporterte forbruket kan være av varierende nøyaktighet. Sammenlignet med Enova sin statistikk, som baserer seg på mellom 7 og 13 svømmehaller, må likevel utvalget betegnes som stort.

I Tabell 6a er resultatet fra Teknologisk Institut sin undersøkelse gjengitt. Det er et noe mildere klima i Danmark sammenlignet med Oslo klimaet som energiforbruksdataene fra Enova er temperaturkorrigert i forhold til. For at tallene skal være sammenlignbare med norske forhold må også disse temperaturkorrigeres til Oslo klima.

For svømmehaller er det bare de 40 % av energiforbruket som er temperaturavhengig og følgelig trenger å temperatorkorrigeres (Enova 1999 – 2008). Graddagtallet, som beskriver integralet mellom inne og utetemperatur gjennom fyringssesongen, er 2905 graddager for Danmark og 4041 graddager for Oslo. For å korrigere energibruket i de danske svømmehallene benyttes (Enova 2008):

$$Energibruk_{Oslo} = Energibruk_{Danmark}((1 - 0,4) + 0,4 * \left(\frac{Graddager_{Oslo}}{Graddager_{Danmark}}\right))$$

Tabell 6a - Fordeling av energiforbruk i danske svømmehaller (Teknologisk Institut 2007)

	Bassengareal	< 300 m ²	300 m ² < A < 600 m ²	> 600 m ²	For alle anlegg
El	kWh/m ² basseng	776	723	580	701
	kWh/person	5	4	7	5
Varme	kWh/m ² basseng	1969	1923	1264	1784
	kWh/person	10	11	7	10
Sum el + varme	kWh/m ² basseng	2745	2646	1844	2485

Tabell 6b - Fordeling av energiforbruk i danske svømmehaller temperatorkorrigert til Oslo klima

	Bassengareal	< 300 m ²	300 m ² < A < 600 m ²	> 600 m ²	For alle anlegg
El	kWh/m ² basseng	897	836	671	810
	kWh/person	6	5	8	6
Varme	kWh/m ² basseng	2276	2224	1462	2063
	kWh/person	12	13	8	12
Sum el + varme	kWh/m ² basseng	3226	3059	2132	2874

I Tabell 6b er de temperatorkorrigerte verdiene fra Teknologisk Institut sin undersøkelse gjengitt. Det går frem at det totale forbruket av energi ligger mellom 2000 og 3000 kWh/m² basseng, med det høyeste forbruket for de minste bassengene. Ved å sammenligne dette med energiforbruket i norske svømmehaller (Figur 1b) ser vi at gjennomsnittet i de danske hallene er på nivå med de beste i Norge. Forskjellen er såpass stor at dette neppe skyldes unøyaktigheter eller forskjellige rapporteringsmåter alene, men at det mest sannsynlig også er et resultat av bedre byggeteknikk og større bevissthet rundt energiøkonomisk bygging. Det foreligger ikke noe data på alderen til de danske svømmehallene, og det er derfor vanskelig å si om det er forskjell i alder som er årsaken til det lave energiforbruket i de danske sammenlignet med de norske svømmehallene.

5 BEREGNING AV ENERGIBRUKSBEHOV

Beregning av energiforbruk skal i Norge gjøres etter standarden NS 3031 (2007). I standardens forord står det at den grunnet kompleksiteten og omfanget best egner seg for databaserte beregningsverktøy. For å komme med forslag til energibrukskrav brukes derfor energiberegningsprogrammet Simien til å gjøre beregninger av det årlige forbruket av energi for en tenkt svømmehall med et standard opplæringsbasseng.

5.1 SIMIEN

Regneprogrammet Simien er utviklet av ProgramByggerne, og brukes for å simulere forbruket av energi til alle funksjonene i en bygning. Programmet er ikke laget for svømmehaller, men med noen tilpasninger og justeringer gir det rimelige resultater også for energiforbruk knyttet til svømmebassenget.

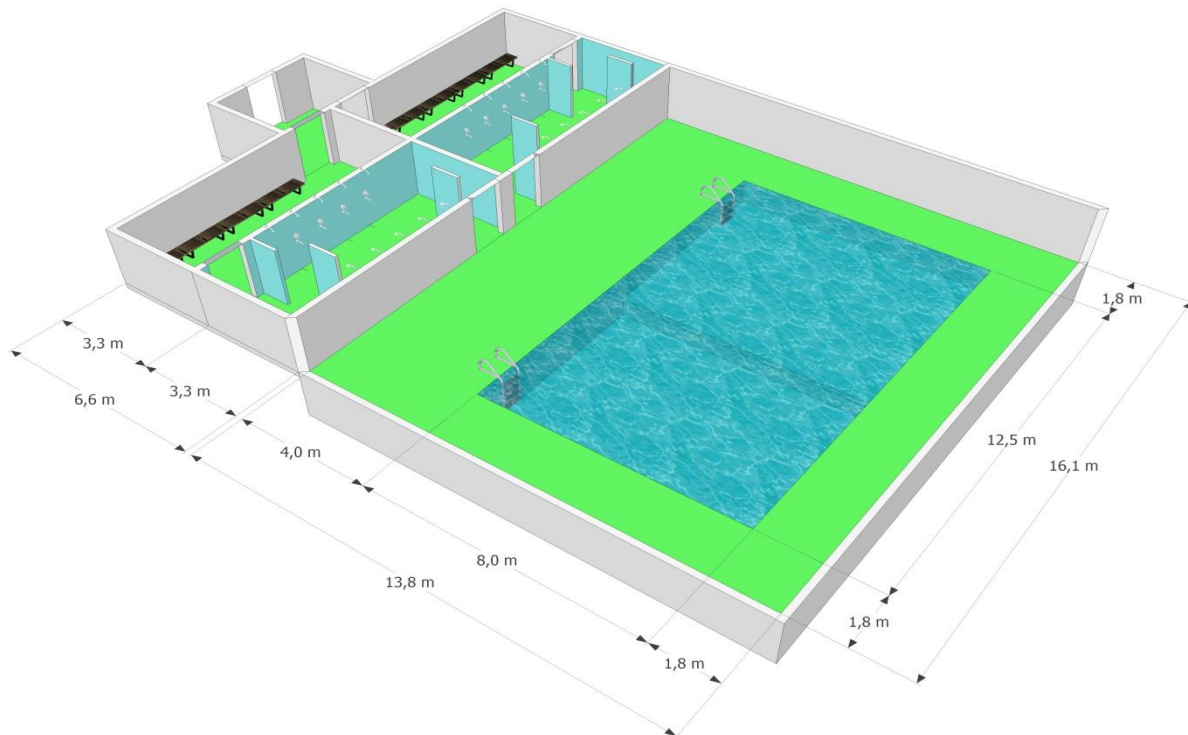
I programmet deles bygget opp i soner som hver får tildelt parametre knyttet til drift og oppvarming. De forskjellige sonene kobles sammen med overgangsparmetre som U-verdier, infiltrasjon og tetthetstall. For svømmehallen som er beregnet i denne oppgaven er det laget en sone for selve svømmehallen, en for hver av dusjene, en for hver av garderobene, en for dyp og en for grunn del av bassenget, og fire soner for inspeksjonsgangen rundt bassenget. I beregningene benyttes klimadata for Oslo for å simulere stolstråling og temperaturpåkjenninger som har innvirkning på det nødvendige forbruket av energi til oppvarming og ventilasjon.

Programmet tar utgangspunkt i den dynamiske beregningsmetoden som er beskrevet i NS 3031 (Programbyggerne 2010). Beregninger av bygningens energibehov gjøres i Simien ved å summere simulerte effektbehov til kjøling og oppvarming med et tidsintervall på 15 minutter (Standard Norge 2007). Med en dynamisk beregning blir det tatt høyde for tidsvariable variasjoner som soltilskudd og behovsstyrt ventilasjon. Dette er imidlertid ikke av avgjørende betydning for svømmehaller som krever relativt stabile og stasjonære forhold, men brukervennligheten til Simien gjør at det er anvendelig å gjøre beregningene i dette programmet.

5.2 SVØMMEHALL

For å komme med forslag til energibrukskrav er det tatt utgangspunkt i et opplæringsbasseng som vist i Figur 3 med mål og størrelser gitt som standardmål av Norges Svømmeforbund (NSF 2009). Selv om svømmehaller, og spesielt opplæringsbasseng, ofte er en del av andre bygninger vil det her regnes på en selvstendig svømmehall. Dette fordi resultatene da vil være konservative, og forholdsvis lettere å tilfredsstille for svømmehaller som grenser til andre bygninger.

I tråd med tabell A.3 i NS 3031 (Standard Norge 2007) er det antatt åtte timer daglig drift, og åtte ukers ferie fra midten av juni til midten av august. Dette kan for enkelte svømmehaller være en kort driftstid, men for det klassiske opplæringsbassenget må dette regnes som en representativ driftstid.

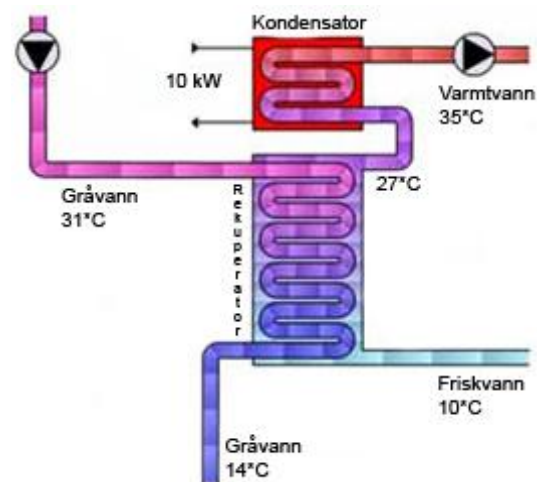


Figur 3 – Isometrisk tegning av opplæringsbassenget

5.2.1 OPPVARMING AV BASSENGVANN

Norsk Bassengbad Teknisk Forening (NBTF 2000) angir at tilførsel av nytt vann til et basseng i bruk skal være 30 liter per badende per dag. Siden det her sees på et opplæringsbasseng antas det at det vil være 30 samtidige brukere. Dette gir at det blir nødvendig å tilføre 900 liter friskt vann i døgnet. Den nødvendige effekten som må til for å varme opp dette vannet er som vist i Bilag A.1.2 8,9 W/m², der arealet er totalt bassengareal som vist på Figur 3.

Det finnes flere løsninger for gjenvinning av varme fra gråvannet til bassenget. Gråvann er en generell betegnelse på alt avløpsvann unntatt det som kommer fra WC. Det enkleste gjenvinningsprinsippet er en rekuperativ varmeveksler. Denne fører, som vist i Figur 4, avløpsvannet i rør gjennom et kammer hvor friskvannet passerer. Når disse vannstrømmene passerer hverandre vil en mengde varme overføres til friskvannet, som dermed krever mindre elektrisk energi tilført for å oppnå den ønskede temperaturen på 28 °C. En slik rekuperativ varmeveksler vil ha et effekttall på ca 3 (Fjellbu 2009). Effekttallet er forholdet mellom effektbehovet og den tilførte effekten. Med en slik rekuperativ varmeveksler vil med andre ord den W/m^2 .

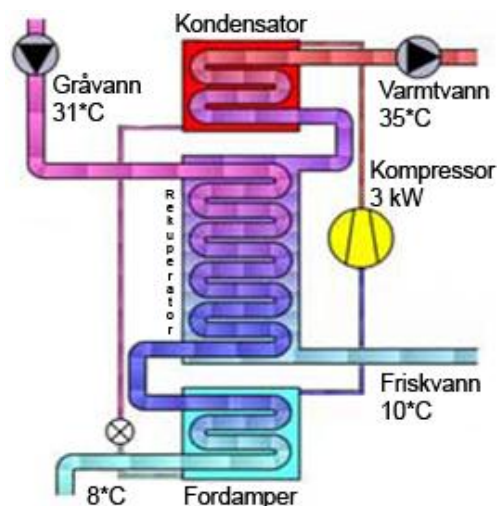


Figur 4a - Rekuperativ varmeveksler (Fjellbu 2009)

rekuperativ varmeveksler vil med andre ord den tilførte effekten i dusjene reduseres til 2,9 W/m².

For å gjøre den rekuperative varmeveksleren enda mer effektiv kan det som vist i Figur 4b i tillegg kobles en varmepumpe mellom det avkjølte gråvannet og det delvis oppvarmede friskvannet. Dette systemet vil gi vannet sin ønskede temperatur med et minimalt energibruk. For Menerga sin varmegjenvinner T 44 18..1, som har tilstrekkelig kapasitet for bassenget i denne oppgaven, vil effekttallet bli 11,8, noe som fører til at den nødvendige tilførte effekten blir $0,74 \text{ W/m}^2$.

Mens tilførselen av friskt vann bare er nødvendig i driftstiden, må det gjennom hele døgnet og året holdes sirkulasjon i vannet (NBTF 2000). Dette er nødvendig for å hindre at det dannes stillestående bakevjer med oppblomstring av bakterier i deler av bassenget. Som dimensjonerende sirkulasjonsmengde regnes $2 \text{ m}^3/\text{time}$ badende. For å holde denne sirkulasjonen i gang vil det for hele bassenget være nødvendig med pumper med en samlet effekt på $4,8 \text{ kW}$ (hoh.no 2010).



Figur 4b - Rekuperativ varmeveksler med varmepumpe (Fjellbu 2009)

5.2.2 VARMEKAPASITET BASSENGVANN

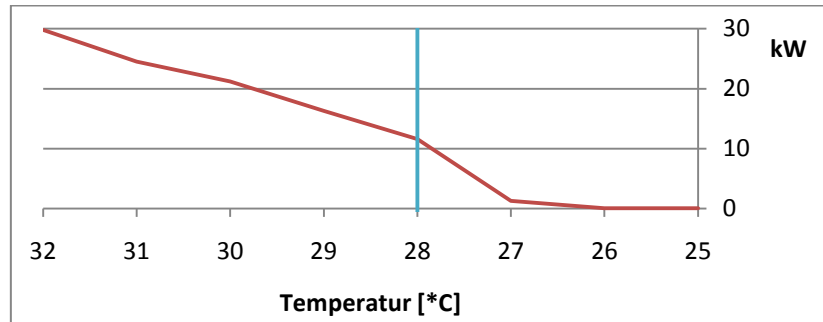
Varmekapasiteten til en bygning indikerer bygningens respons på endringer i temperatur (NTNU, Sintef 2007). Hvis det er høy varmekapasitet i et rom vil møbler og bygningsdeler magasinere varme, og temperaturendringer vil skje langsomt. I et rom med lav varmekapasitet vil temperaturendringer gå fortere og romtemperaturen kan raskt stille seg inn i forhold til settpunkttemperaturen på oppvarmingsanlegget. I en bygning hvor man ønsker stabile temperaturer vil det derfor være gunstig med høy varmekapasitet og et godt isolert klimaskall.

Svømmehaller er bygninger hvor stabile temperaturer er ønskelig. For å holde kontroll med fordampningen fra bassengvannet er det viktig at temperaturene i vannet og romluften holdes konstante døgnet rundt. De tunge konstruksjonene i flis og betong, som er vanlige i svømmehaller, vil i kombinasjon med bassengvannet gi en svært høy varmekapasitet. Beregning av varmekapasiteten til bassengvannet alene gir som vist i Bilag A.1.3 en verdi som er fem til ni ganger høyere enn den maksimale input-verdien i Simien. Det antas derfor at det er tilstrekkelig å sette varmekapasiteten for bassengvannet lik $200 \text{ Wh/m}^2\text{K}$, som er den høyeste mulige verdien i Simien. For de øvrige overflatene, som innvendig er av betong og flis, velges verdier for tunge bygningsdeler, som i Simien er gitt som $10 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ for vegger og $63 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ for gulv og himling.

5.2.3 FORDAMPNING AV BASSENGVANN

Gjennom bruk vil store mengder vann fordampe fra bassenget og de våte omkringliggende overflatene. Fordampning skjer når de øverste vannmolekylene får tilstrekkelig høy hastighet til å unnsnippe væskeformen og bli til gass i form av vanndamp (Tipler, Mosca 2008). Dette betyr at ved høye vanntemperaturer, dvs. når molekylene beveger seg raskt, vil det bli økt fordampning. Luftstrømmer langs vannspeilet vil også øke hastigheten på vannmolekylene og føre til en økt fordampning.

Temperaturdifferansen mellom bassengvannet og romluften vil ha stor innvirkning på mengden fukt som fordampes. Tommelfingerregelen som benyttes for å minimere fordampningsmengden er at romluften skal være to grader varmere enn bassengvannet. Brambley og Wells (1982) gjorde målinger av varmestrømmen fra et bassengvann til luft, og resultatet som er gjengitt i Figur 5 viser tydelig behovet for å holde temperaturdifferansen på en til to grader.



Figur 5 - Plott av fordampningsvarmestrømmen som funksjon av varierende vanntemperatur fra et basseng på 238 m². Lufttemperaturen er holdt konstant på 28 °C (Brambley, Wells 1982).

Vannets fordampningsvarme er den varmeenergien som må avgis for å fordampe en gitt mengde vann. Det vil si at vannet mister en viss mengde varme som blir overført til luften i form av fukt og vanndamp. Luften blir ikke varmet opp, men mottar entalpi i form av vanndamp. Den tyske normen for svømmehaller, VDI 2089 (2010), gir en empirisk formel for beregning av mengden fukt som fordampes. Beregningene er vist i Bilag A.1.4, og fordampningsmengdene er gjengitt i Tabell 7a.

Tabell 7a - Fordampningsmengder fra grunn og dyp del av bassenget i og utenfor åpningstid.

M [kg/h]	benyttet	ubenyttet
Grunn	23,34	4,08
Dyp	16,33	4,08

Tabell 7b - Avgitt fordampningsvarme fra bassenget.

Φ_{vd} [W/m ²]	benyttet	ubenyttet
Grunn	261,59	45,78
Dyp	183,11	45,78

For å finne mengden varme vannet avgir ved fordampning multipliseres fordampet vannmengde med den spesifikke fordampningsvarmen til vann som er 2270 kJ/kg (Tipler, Mosca 2008). Den avgitte varmen fra bassenget er gjengitt i Tabell 7b. Det er her verdt å merke seg at det i åpningstiden fordampes betydelig mer vann fra den grunne delen av bassenget sammenlignet med fra den dype delen av bassenget. Dette skyldes at disse empiriske formlene tar høyde for at det er mer lek og spruting i grunne basseng, og følgelig at mer vann blir virvlet opp i luften som fordampning.

For å inkludere dette energitapet i beregningsmodellen i Simien er det ført som *teknisk utstyr* under posten *internlaster* for de to sonene grunn og dyp del av bassenget. Da det avgis en betydelig mengde varme selv utenfor driftstiden er det tydelig at det kan spares mye energi ved å stoppe denne fordampningen ved å benytte et bassengovertrekk. Dette er diskutert ytterligere i avsnitt 5.2.7.

5.2.4 VARMESTRØMMER MELLOM BASSENGVANN OG ROMLUFT

Ved en temperaturdifferanse på to grader mellom bassengvannet og romluften vil varmemestrømmene nesten utelukkende bestå av fordampningsvarmen som beskrevet over. I VDI 2089 er varmemestrømmer fra vannet til luften ikke tatt med, og ved eksprimentering med modellen i Simien viser det seg at energiforbruket blir tilnærmet uforandret ved å variere U-verdien til sonen mellom bassengvannet og romluften fra 0,01 til 10 W/m²K. Det velges derfor i det følgende å holde U-verdien på sonen lik 5,9 W/m²K, som er U-verdien som oppnås med varmeovergangsmotstanden på 0,17 W/m²K ved vertikal varmetransport nedover.

5.2.5 VARMESTRØMMER FRA BASSENGVANN TIL INSPEKTØRGANGER

Varmestrømmene fra vannet gjennom betongveggen i bassengkonstruksjonen foregår på den samme måten som det gjør i vanlige veggkonstruksjoner. Den eneste forskjellen er at bassengkonstruksjonen er helt tett, og at det dermed ikke er noe varmetransport konvektivt i luftstrømmer slik det til en viss grad vil være gjennom en vanlig vegg.

Ved beregning av varmemotstanden i en vegg benyttes varmeovergangsmotstander på innvendig og utvendig overflate. Denne verdien indikerer hvor effektivt varme overføres til overflaten fra omkringliggende luft/vann. Varmeovergangsmotstanden avhenger av veggens utforming og overflate, samt av strømmingene over veggen. I overgangen fra vann til vegg må det grunnet de induserte strømmingene i bassenget antas at denne motstanden er veldig liten. Det antas derfor at det ikke er noe overgangsmotstand i sjiktet, og setter $R_{s,vann} = 0$ m²K/W. Dette vil uansett være en tilfredsstillende nøyaktig antagelse siden det bare gir en ubetydelig variasjon i veggens totale varmemotstand. Overgangsmotstanden er av større betydning når overflatetemperaturen skal bestemmes for eksempel ved kondenskontroll (Geving, Thue 2002).

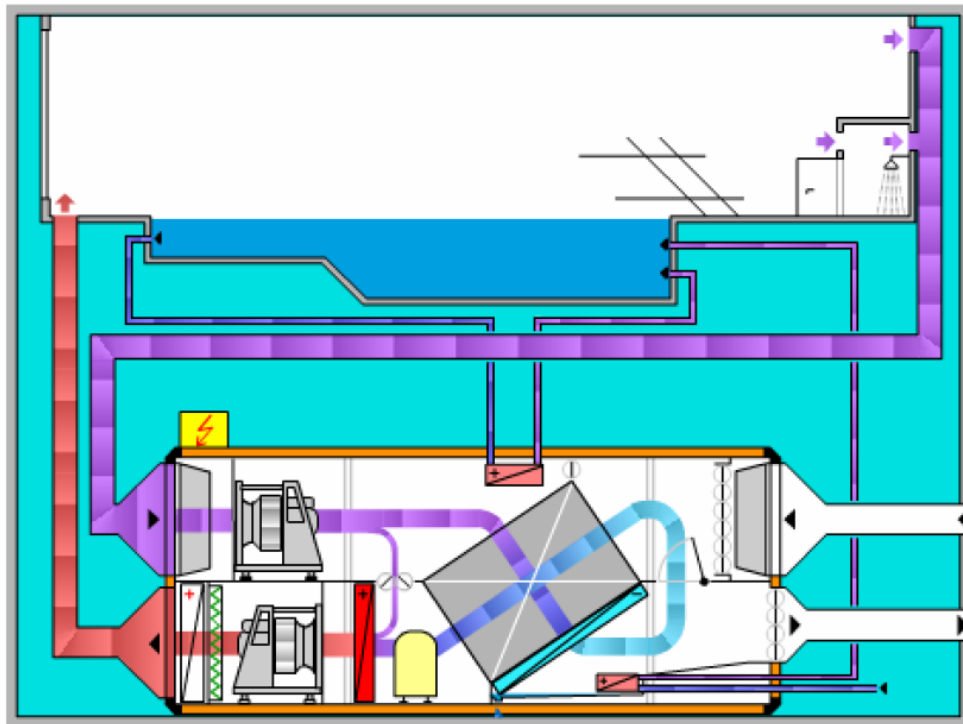
Varmestrømmene gjennom bassengveggene blir da som gjennom vanlige vegger.

5.2.6 VENTILASJON OG AVFUKTING AV BASSENGLUFTEN

Som i alle bygningstyper vil det i svømmehaller være behov for ventilasjon for å oppnå en ønsket luftkvalitet. I tillegg til å holde luften rein for forurensninger vil det i svømmehaller være behov for å holde luftfuktigheten i sjakk ved å ventilere ut den fuktige luften. Dette kan gjøres ved hjelp av to forskjellige prinsipper:

1. Tilføre tilstrekkelig frisk luft til at luftfuktigheten holdes på et rimelig nivå.
2. Kjøleteknisk avfukting av luften.

Ved det første alternativet blir vanndampen fjernet ved å ventilere ut den fuktige inneluften, for så å forvarme og tilføre en tilsvarende tørr mengde uteluft. Denne metoden var mye brukt tidligere, men den store mengden luft som må skiftes ut fører til et høyt energiforbruk og det er i dag mer vanlig å bruke kjøleteknisk avfukting av luften. For å holde luftfuktigheten på et tilfredsstillende nivå i svømmehallen vil det som vist i Bilag A.2.1 være nødvendig med et luftskifte på 16 m³/hm² i driftstiden, og 2,9 m³/hm² utenom driftstiden.



Figur 6 - Kjøleteknisk avfukting av romluft (Menerga 2010)

I moderne kjøletekniske avfuktere er det også installert varmegjenvinning med både rekuperativ varmeveksler og varmepumpe. Som vist i Figur 6 går avkastluften først gjennom en kryssvarmeveksler hvor den avkjøles til duggpunktet og en viss mengde fukt kondenseres. Dette er også vist i Bernoullidiagrammet i Figur 7 fra punkt F til G. Etter kryssvarmeveksleren går luften videre til varmepumpen, og kommer først til fordamperen. Her er det kjølemediet som sirkulerer i varmepumpen som blir fordampet, mens luften kondenserer og avfuktes ytterligere. Luften kjøres så tilbake gjennom kryssvarmeveksleren, denne gangen på den tørre siden, og luften varmes opp igjen. Til slutt går luften gjennom kondensatoren i varmepumpen, hvor kjølemediet kondenserer, og luften blir ytterligere oppvarmet før den føres tilbake til romluften med et lavere fukttinnhold.

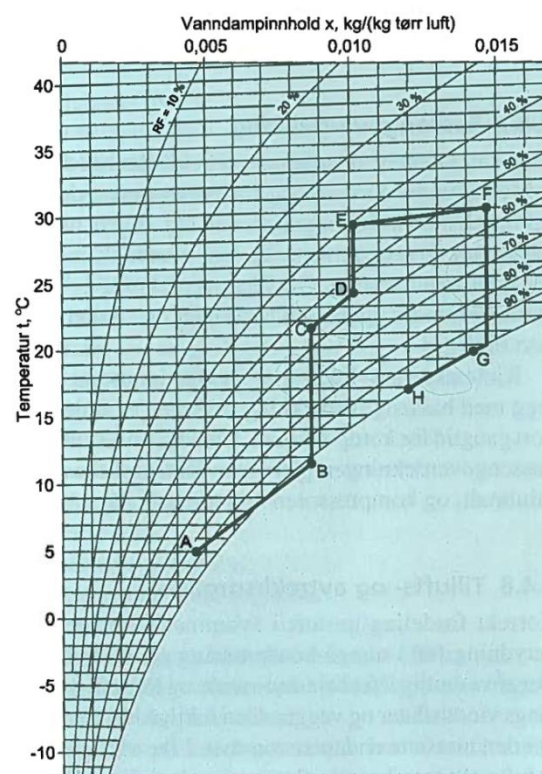
Ved å benytte det andre alternativet vil det være tilstrekkelig å dimensjonere ventilasjonsbehovet basert på andre kriterier til luftkvalitet som temperatur og forurensninger.

I beregningene gjort i denne rapporten er det benyttet kjøleteknisk avfukting, da dette er det mest energieffektive og også det vanligste i moderne svømmehaller. Effektbehovet for å drive systemet er i Simien ført som *teknisk utstyr* under posten *internlaster*. Energisystemsfirmat Menerga har en avfukter Thermocond T37 06 11 som brukes som grunnlag for kapasiteten og effekten som går med til å drive systemet (Menerga 2010).

For å få med energien som går tapt når den varme luften inne skiftes ut med kald uteluft, er det også ført inn konstant ventilasjon i Simien. Basert på anbefalingene i Håndbok 52 er det som vist i Bilag A.2.2 dimensjonert et friskluftsbehov på $1134 \text{ m}^3/\text{time}$ for svømmehallen (Bøhlerengen m.fl. 2004). For å oppnå ønskede luftstrømmer er det anbefalt å ha fra 4 til 7 luftskifter per time. Dette kan oppnås med å kjøre $2421 \text{ m}^3/\text{time}$ i omluft. Det antas at dette går i avfuktersystemet, og at det dermed ikke trengs ytterligere effekt til drift.

Som nevnt i kapittel 2 er det i svømmehaller vanlig praksis å benytte undertrykksventilasjon for å redusere sannsynligheten for at varm og fuktig luft trekker utover i konstruksjonen og kondenserer med påfølgende fuktskader. Basert på den overslagsmessige formelen for skorsteinseffekten vil det være nødvendig med et negativt trykk større enn 5 Pa for å sikre at det resulterende trykket virker innover (Geving, Thue 2002).

Det er ingen enkle beregningsmetoder for å finne den nødvendige differansen i luftmengde inn og luftmengde ut som må til for å opprettholde det nødvendige undertrykket. Bjørn Aas i Asplan Viak hevder imidlertid at det er vanlig praksis å ta utgangspunkt i en differanse på 300 m³/time, for så å innstille systemet mer nøyaktig etter at det er tatt i bruk (2010). I det aktuelle tilfellet vil det her si et avtrekk på 1134 m³/time, mens tilluften begrenses til 834 m³/time. I timen trekkes det da 300 m³ luft gjennom åpninger og utette deler av klimaskallet.



Uteluftandel på 33 %, utetemperatur 5 °C og 85 % RF. Avtrekksluften har 30 °C og 55 % RF. Disse driftsforholdene brukes ofte som dimensjonerende for valg av aggregat- og kompressorstørrelse.

A = uteluft ved 5 °C

B = uteluft blandes med avkastluft før varmegjenvinner (tåketilstand)

C = tilluft er oppvarmet i kryssvarmeveksler

D = tilluft blandes med omluft

E = tilluft er oppvarmet over luftkjølt kondensator og ettervarmebatteri

F = avtrekksluft 30 °C og 55 % RF

G = avtrekksluft nedkjølt og avfuktet i kryssvarmeveksler

H = avkastluft er ytterligere avfuktet over fordampner

Figur 7 - Avfuktingsprosessen (Bøhlerengen m.fl. 2004)

5.2.7 BASSENGOVERTREKK

Et bassengovertrekk vil utenom driftstiden stoppe fordampningen fra bassenget, og i så måte både føre til at mindre energi forsvinner til fordampning og at det blir et redusert behov for avfukting av romluften. Dessverre er dette ikke i utstrakt bruk i Norge i dag (Aas 2010). Om natten ligger duken fuktig i bassenget, og om dagen rulles den sammen uten mulighet for å tørke. Dette fører til en stor bakterievekst på folien, noe som øker behovet for kloring og forringing kvaliteten på vannet.

Med en teknologi som forhindrer bakterieveksten vil bassengovertrekk være et viktig tiltak for å hindre stort energiforbruk. Med dagens utvikling av nye metoder og produkter bør egnede bassengovertrekk være oppnåelig. Det er derfor gjort beregninger i Simien ved å anta ingen fordampning og redusert ventilasjonsbehov utenom driftstid, slik at det kan vurderes seriøst dersom et godt overtrekk kommer på markedet. Alternative løsninger kan være drenerings- og opptørkings-muligheter for duken, eller å dykke presenningen helt ned i vann eller klor når den

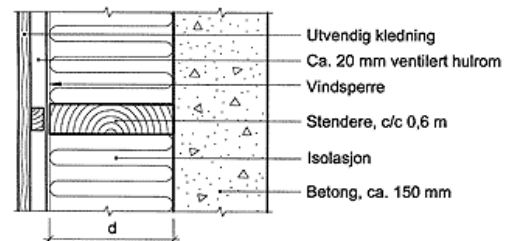
er ute av bruk. Gode impregneringer og bakteriedrepende overflater kan være andre alternativ som fører til at bassengovertrekk blir en brukbar metode.

5.2.8 BYGNINGSDELER

For bygningsdelene i svømmehallen er det tatt utgangspunkt i ordinære konstruksjonsløsninger som er vanlige å benytte i svømmehaller.

5.2.8.1 Fasader

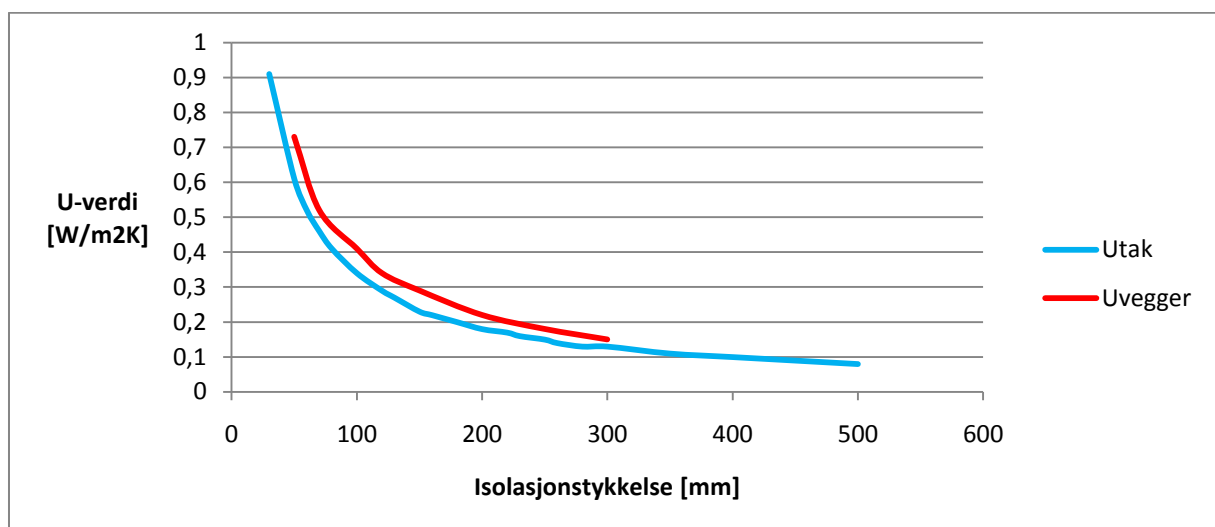
For fasadene er det grunnet det varme og fuktige innklimaet, som nevnt i kapittel 2.4, viktig med en tett og kontinuerlig innvendig dampspærre. Plastøppte betongkonstruksjoner, som vist i Figur 8, er forholdsvis lett å bygge tett. For svømmehaller anbefaler Byggforsk en damptetthet over 50 meter ekvivalent luftlagstykkelse (2008b). 200 mm betong har bare en damptetthet rundt 30 m, og det blir derfor nødvendig med en dampspærre mellom betongen og isolasjonen for å komme over den ønskede damptettheten.



Figur 8 - Horisontalsnitt utvendig isolert betongvegg (Byggforsk 2003b)

Kravene som i TEK-2010 er gitt til vegger og tak er strenge sammenlignet med hva som er mulig å oppnå med dagens materialer og metoder. Kurvene i Figur 9 viser hvordan U-verdiene varierer med isolasjonstykkelsen for et omvendt tak og en utvendig isolert betongvegg. Det interessante her er at kurvens negativt eksponentielle form indikerer at de første centimeterne med isolasjon gir en stor reduksjon i varmemotstanden, mens påfølgende lag med isolasjon har en mer beskjeden effekt.

For å oppfylle minstekravet på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ i den gjeldende forskriften er det nødvendig med 250 mm isolasjon i ytterveggene (Byggforsk 2003b). Som et tiltak forsøkes det med et tykkere isolasjonssjikt som vil føre til bedre varmemotstand i veggen med en U-verdi ned mot $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. I Figur 9 går det da frem at man er kommet inn i området hvor kurven er begynt å flate ut. Dette betyr at det gir liten effekt å øke isolasjonstykkelsen ytterligere.



Figur 9 - U-verdi som funksjon av isolasjonstykkelse for tak og vegg basert på U-verdier oppgitt i Byggforsk detaljblader (2003 b og c)

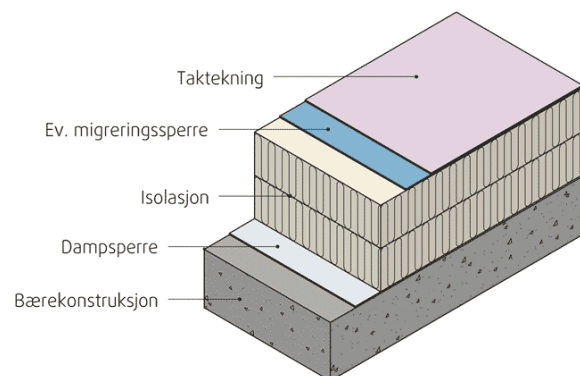
5.2.8.2 Bassengvegger

Bassengveggene bygges av plasstøpt betong slik det er beskrevet i kapittel 2.1. Den vanlige metoden er å benytte ca 200 mm betong uisolert. Med fraværet av varmeovergangsmotstand mellom bassengvannet og betongoverflaten som beskrevet i avsnitt 5.2.5 vil U-verdien til den uisolerte bassengveggen bli $4 \text{ W/m}^2\text{K}$. For å undersøke effekten av å isolere bassengveggene benyttes det 200 mm EPS-isolasjon som resulterer i en U-verdi på $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5.2.8.3 Tak

Kompakte tak gir en tett og damp sikker konstruksjon og er derfor godt egnet i svømmehaller (Bøhlerengen m.fl. 2004). Figur 10 viser oppbyggingen av kompakte tak med dampsperre på kald side mellom betongdekket og isolasjonslaget (Byggforsk 2007). Dette er på samme måte som for fasadene nødvendig for å oppnå den ønskede damptettheten. Tekkingen ligger øverst som slitelag, over isolasjonen som kan utføres av EPS eller steinull av en trykkfast kvalitet.

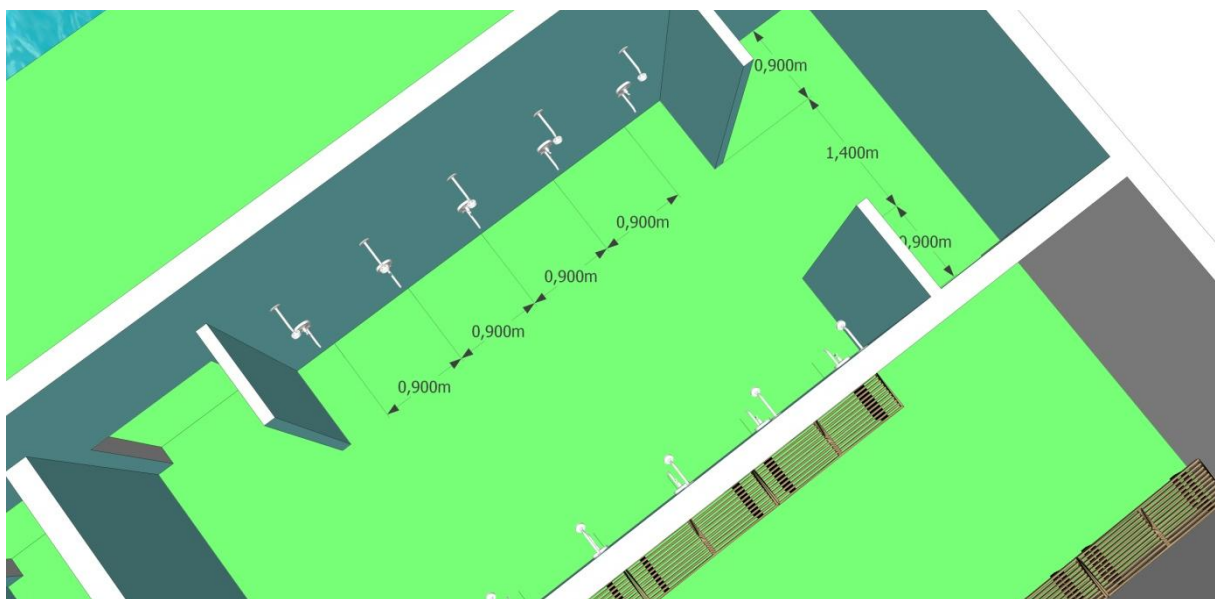
I beregningene tas det utgangspunkt i U-verdiene Byggforsk (2003c) gir for kompakte tak med utvendig isolasjon. 300 mm gir en U-verdi på $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, mens 350 mm isolasjon reduserer U-verdien til $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. I Figur 9 vises det at med den nødvendige isolasjonstykkelsen på taket er man kommet enda lengre ut i kurvens utflatende område enn for veggene, og følgelig gir det lite ekstra reduksjon i U-verdien per centimeter med ekstra isolasjon.



Figur 10 - Oppbygging av kompakt tak (Byggforsk 2007)

5.3 DUSJ

Dusjanlegget er dimensjonert etter de anbefalte størrelsene i Håndbok 52 (Bøhlerengen m.fl. 2004) for å skulle passe til skolebruk. Det er valgt et forhold mellom dusjhoder og garderobeplasser på 1:2, og plassering av dusjene er valgt i henhold til figur 6.1.4.5 i Håndbok 52. Den valgte utformingen på dusj- og garderobeanlegget er vist i Figur 11.



Figur 11 - Mål dusjanlegg

5.3.1 VANNBRUK TIL DUSJING

For å beregne energiforbruket til dusjer er det tatt utgangspunkt i at skoleklasser skal bruke anlegget. Det antas 30 samtidige brukere som inkluderer elever og lærere, og det antas at hver bruker dusjer i 6 minutter totalt, altså tre minutter før og tre minutter etter badet. Dusjene antas å bruke 8 liter per minutt, i tråd med Enova sin beskrivelse av sparedusjer (2009). Med 8 timers daglig drift utgjør dette et vannforbruk på 11 520 liter/dag eller 1,44 m³/time.

Den nødvendige tilførte effekten for å varme opp vannet i ledningsnettet fra 8 °C til en dusjtemperatur på 38 °C vil som beregnet i Bilag A.3 utgjøre 17,14 kW. Fordelt på arealet til dusjene tilsvarer dette et effektbehov på 337 W/m².

På samme måte som beskrevet for oppvarming av vann til svømmebassenget, vil det i dusjen være mulig med varmegjenvinning på gråvannet. Tatt i betraktning at temperaturen til vannet skal heves mer, og at større mengder vann forbrukes, vil det her gi større effekt å installere varmegjenvinnere. Med en rekuperativ varmeveksler med effekttall lik 3 vil effektbehovet reduseres fra 337 W/m² til 112,3 W/m² (Fjellbu 2009). Hvis det installeres et system med varmepumpe i tillegg til varmeveksleren vil effektbehovet reduseres ytterligere til 28,6 W/m².

Da energibruket til dusjing utgjør en betydelig del av det totale forbruket til svømmehallen vil antagelsene knyttet til vannmengder ha ganske stor påvirkning på resultatet av beregningene. Dette er vist ytterligere i avsnitt 6.5.

5.3.2 VENTILASJON AV DUSJLUFTEN

Dusjingen før og etter hvert bad fører til at luften i dusjanlegget blir varm og fuktig. Det er antatt at 20 % av varmen fra vannet overføres til luften, og følgelig vil det i perioder med stor aktivitet bli svært varmt i dusjen. Det vil i tillegg være et jevnt tilskudd av fukt til luften gjennom bruk av anlegget.

I veiledningen til teknisk forskrift er det i § 8-34 gitt verdier for anbefalte ventilasjonsmengder per dusj (REN 2007). Summert opp for det aktuelle dusjanlegget vil dette kreve en ventilasjonsmengde på 21,5 m³/time m² i driftstiden. Utenfor driftstiden benyttes mengden på 3 m³/time m² som er gitt i NS 3031 (Standard Norge 2007).

Da dette aktuelle svømmeanlegget er tenkt som et opplæringsbasseng vil det være stor belastning på dusjene før og etter hver svømmetime. Isolert sett ville nok dette stilt krav til svært høye luftskifter og avfukting av luften, men siden fukt- og varmetilskuddet er tilnærmet fraværende i timen mellom, antas det at det får tid til å innstille seg på akseptable forhold igjen i denne perioden.

5.4 GARDEROBE

På samme måte som for dusjanlegget er garderoben dimensjonert etter anbefalingene i Håndbok 52 (Bøhlerengen m.fl. 2004). Inngangspartiet er tatt med for helheten sin del. Dette har gitt en størrelse som må kunne betraktes som rimelig basert på aktuell utforming av hallen og på praksis fra andre svømmebasseng.

5.4.1 VANNBRUK

Det er ikke rimelig å forvente at det blir forbrukt betydelige mengder tappevann i garderoben. Det antas derfor at energiforbruket til varmtvann i garderoben er lik 0 W/m².

5.4.2 VENTILASJON I GARDEROBEN

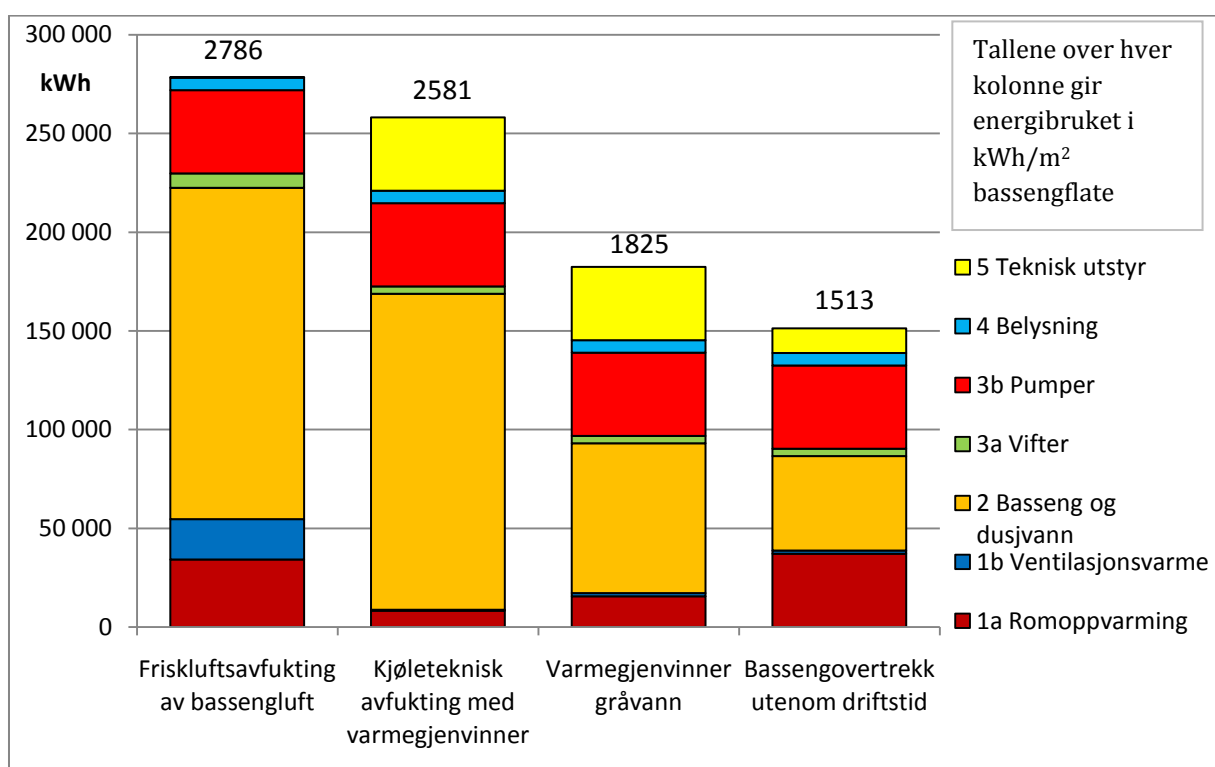
Til tross for at det ikke kommer til å være høy aktivitet i selve garderoben er det sannsynlig med et visst tilskudd av vanndamp fra dusjen i naborommet og fra våte brukere. Det er også rimelig å anta at det vil være en viss luktpåkjenning som det kan være behov for å ventilere. Det velges derfor å benytte en ventilasjonsmengde på $12 \text{ m}^3/\text{time m}^2$ i driftstiden og $3 \text{ m}^3/\text{time m}^2$ utenfor driftstiden, som gitt i NS 3031 for idrettsbygg.

6 RESULTAT FRA BEREGNINGER I SIMIEN

I beregningene er det tatt utgangspunkt i en svømmehall med friskluftsavfukting. Forskjellige tiltak er vurdert for å undersøke effekten av disse, samt for å se hva som vil være et rimelig energibruk å forvente fra svømmehaller bygget etter moderne metoder med gode bygningsmaterialer.

6.1 TEKNISKE TILTAK

I den første søylen i Figur 12 er det vist fordeling av energibruk for svømmehall med friskluftavfukting. Her er det lite teknisk utstyr, og det meste av energien går med til oppvarming av vann til dusjen og svømmebassenget. Med mye luft som byttes ut er det også naturlig at det går en del energi med til oppvarming både av rommet og av luften i ventilasjonssystemet.



Figur 12 - Fordeling av energibruk etter tekniske energisparingstiltak i svømmehallen

I den andre søylen i Figur 12 er det installert kjøleteknisk avfukting på romluften i bassenget. Dette fører til at ventilasjonsbehovet blir vesentlig lavere, og følgelig trengs det mindre energi til ventilasjon. Overskuddsvarmen fra avfuktingsaggregatet vil bidra til at det blir et lavere behov til romoppvarming. Energibehovet til bassengvannet vil bli dekket av varmepumpen, som henter energi fra avkastluften og overfører denne til friskvannet. Energibruket i posten *Basseng og dusjvann* domineres av dusjvannet og fordampningen fra bassengvannet.

I den tredje søylen i Figur 12 er det i tillegg installert gråvannsgjenvinner på avløpsvannet. Dette gir en kraftig reduksjon i energibehovet til oppvarming av dusjvann. Det er her en liten unøyaktighet i beregningsmodellen i Simien som gjør at oppvarmingsbehovet øker når det brukes mindre energi på oppvarming av dusjvann, og det følgelig blir mindre varmetilskudd fra dusjvannet.

I den fjerde søylen er det benyttet bassengovertrekk utenom driftstid. Siden fordampning fra bassengoverflaten utgjør et betydelig energisluk som ikke bidrar til oppvarming av romluften, vil dette være et effektivt tiltak. Dessverre er det i dag ikke vanlig å benytte bassengovertrekk i utstrakt grad grunnet problemer med bakterievekst på presenningen som diskutert i avsnitt 5.2.7. Den økte romoppvarmingen kommer som et resultat av kortere driftstider på avfuktingsaggregatet og mindre varmetilskudd fra varmegjenvinneren. Med et bassengovertrekk uten problemer med bakterievekst ville dette vært et svært enkelt og effektivt tiltak.

Når energiforbruket i kWh/m² vannflate sammenlignes med statistikken i kapittel 4, viser det at allerede med gode tekniske løsninger på ventilasjon og varmegjenvinning av gråvann kommer dette opplæringsbassenget godt ut. Et energiforbruk like over 1800 kWh/m² vannflate er på høyde med de beste norske svømmehallene (Figur 1b), og en del bedre enn gjennomsnittet i den danske undersøkelsen til Teknologisk Institut. Dette bekrefter at det beregnede energibruket kan betraktes som rimelige og pålitelige verdier. Det er verdt å merke seg at svømmehallens høye arealandel av bassengvann (29 %), fører til at det spesifikke energibruket per BRA blir høyt med 520 kWh/m² BRA. Svømmehallen vil derfor, grunnet de samme argumentene som diskutert i avsnitt 3.2 og 4.1, ikke betraktes som energieffektiv sammenlignet med det gjennomsnittlige energiforbruket for norske svømmehaller (Tabell 4).

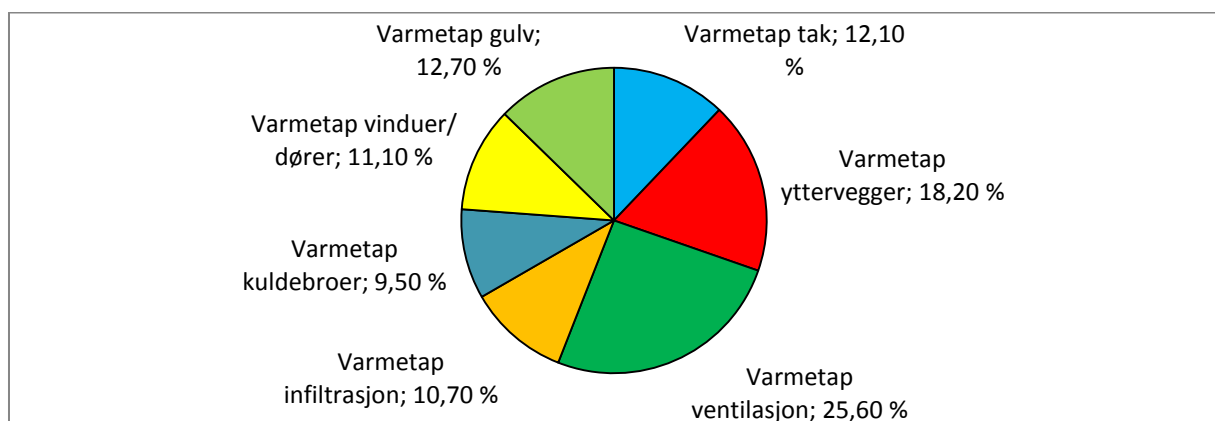
I de videre beregningene tas det utgangspunkt i at både gråvannsgjenvinner og kjøleteknisk avfukting på ventilasjonsluften er installert. Med den store reduksjonen dette gir i energiforbruk må dette utstyret regnes som påkrevd.

6.2 TILTAK PÅ BYGNINGSKROPPEN

En betydelig andel av det totale energiforbruket er knyttet til de tekniske installasjonene i svømmehallen, og derfor er det forholdsvis lite å hente på å forbedre bygningskroppen som allerede er bygget etter strenge TEK-krav. Med det høye energiforbruket er det likevel rom for å gjøre noen forbedringer.

6.2.1 VINDUER

Av varmetapsbudsjettet i Figur 13 går det frem at ved siden av ventilasjonen er det ytterveggene som står for det største varmetapet. Vinduer og dører gir også et betydelig bidrag til tross for sitt beskjedne areal. Med høye U-verdier vil det være enkelt å gjøre forbedrende tiltak for vinduene.



Figur 13 - Varmetapsbudsjett for Svømmehallen etter at gråvannsgjenvinner og kjøleteknisk avfukter er installert, mens bygningen er bygget etter krav gitt i TEK-2010.

Det er et relativt lite vindusareal i det valgte opplæringsbassenget. Dette skyldes at halve svømmehallen er garderobe og dusj, hvor det er ønskelig med begrenset innsyn. Fravær av vinduer i denne delen av anlegget vil både hindre innsynet, og risiko for kondens på den kalde innvendige overflaten av vinduet unngås.

Heller ikke i selve svømmehallen er det ønskelig med for mye vinduer. De varierende refleksene fra solen og utelyset fører til dårlig sikt ned i vannet for badevaktene som står på land og holder oppsyn (Bøhlerengen 2004). Også i svømmehallen er det en betydelig risiko for kondens på innsiden av vinduene og rundt vinduene ved kalde utetemperaturer. Ved færre vinduer og mindre prangende løsninger reduseres sannsynligheten for at kondens oppstår og i tur fører til fuktskader.

I TEK er det gitt som krav at det samlede vindusarealet skal være mindre enn 20 % av BRA. I dette opplæringsbassenget ligger vindusarealet på 8,6 % av BRA. Til tross for den lille vindusandelen blir det en reduksjon på 2580 kWh ved å forbedre U-verdien til vinduene fra 1,2 W/m²K, som er det gjeldende kravet i TEK, til 0,7 W/m²K, som er en fullt oppnåelig U-verdi med gode moderne vinduer.

Det kan ikke forsvares å skulle spare energi for enhver pris, og 2580 kWh kan i den sammenheng være å betrakte som en ubetydelig besparelse. I Tabell 8 er det vist priser på de 19 vinduene i svømmehallen med U-verdier på 1,2 og 0,7 W/m²K. Differansen viser at det vil bli en økt investeringskostnad på litt over 7 000 kr for å spare 2580 kWh i året.

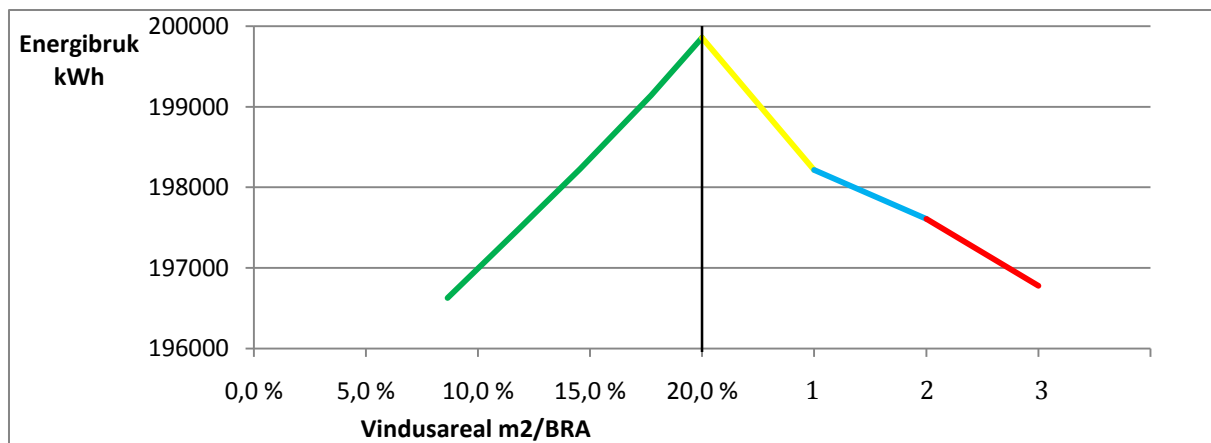
Tabell 8 - Priser på Nordan vinduer (Windoornet 2010)

	Torams sidehengslet utslående vindu
U-verdi = 1,2	106 562 kr
U-verdi = 0,7	113 680 kr
Differanse	7 118 kr

Basert på nåverdiberegninger som vist i Bilag A.4 med en samfunnsøkonomisk kalkulasjonsrente på 7 % (NTNU, Sintef 2007), og en energipris på 80 øre/kWh vil tiltaket med å forbedre vinduene ha betalt seg etter fem år. Med en antatt levetid på rundt 30 år vil det derfor være anbefalt å redusere U-verdien til vinduene.

Det er flere produsenter av glass som leverer vinduer med U-verdier ned i 0,7 W/m²K. Både NorDan (nordan.no 2010) og Pilkington (pilkington.com 2010) har produkter i sitt sortiment med tilstrekkelige varmegjennomgangskoeffisienter. Den beste ruten til Pilkington kan med tre lag glass med kryptongass i spaltene oppnå en U-verdi så lav som 0,5 W/m²K.

Basert på at produktene er tilgjengelige og at det er økonomisk forsvarlig, vil det være rimelig å sette som krav at vinduene i svømmehaller skal ha en U-verdi ikke større enn 0,7 W/m²K.



Figur 14 - Variasjon av totalt energiforbruk i kWh med økende vindusareal. Vindusarealet er gitt i prosent av BRA. Det er også vist hvor store tiltak som må gjøres for å redusere energiforbruket igjen; 1: Redusere U_{vindu} fra 1,2 W/m²K til 1,0, 2: Redusere U_{tak} fra 0,13 til 0,10, 3: Redusere U_{vegg} fra 0,18 til 0,15

Med en så betydelig reduksjon i energibruken som det ble ved å redusere U -verdien fra 1,2 til 0,7 W/m²K, er det klart at det er enda mer å spare ved å ikke ha vinduer i det hele tatt. I Figur 14 er det vist hvordan det totale energiforbruket øker med økende vindusareal, og hvilke tiltak som eventuelt må til for å spare inn en tilsvarende mengde energi. Det kan sees at det gir like stor effekt å redusere vindusarealet fra 20 % av BRA til 10 %, som det gir å forbedre alle vinduer og isolere vegger og tak med 100 mm ekstra isolasjon.

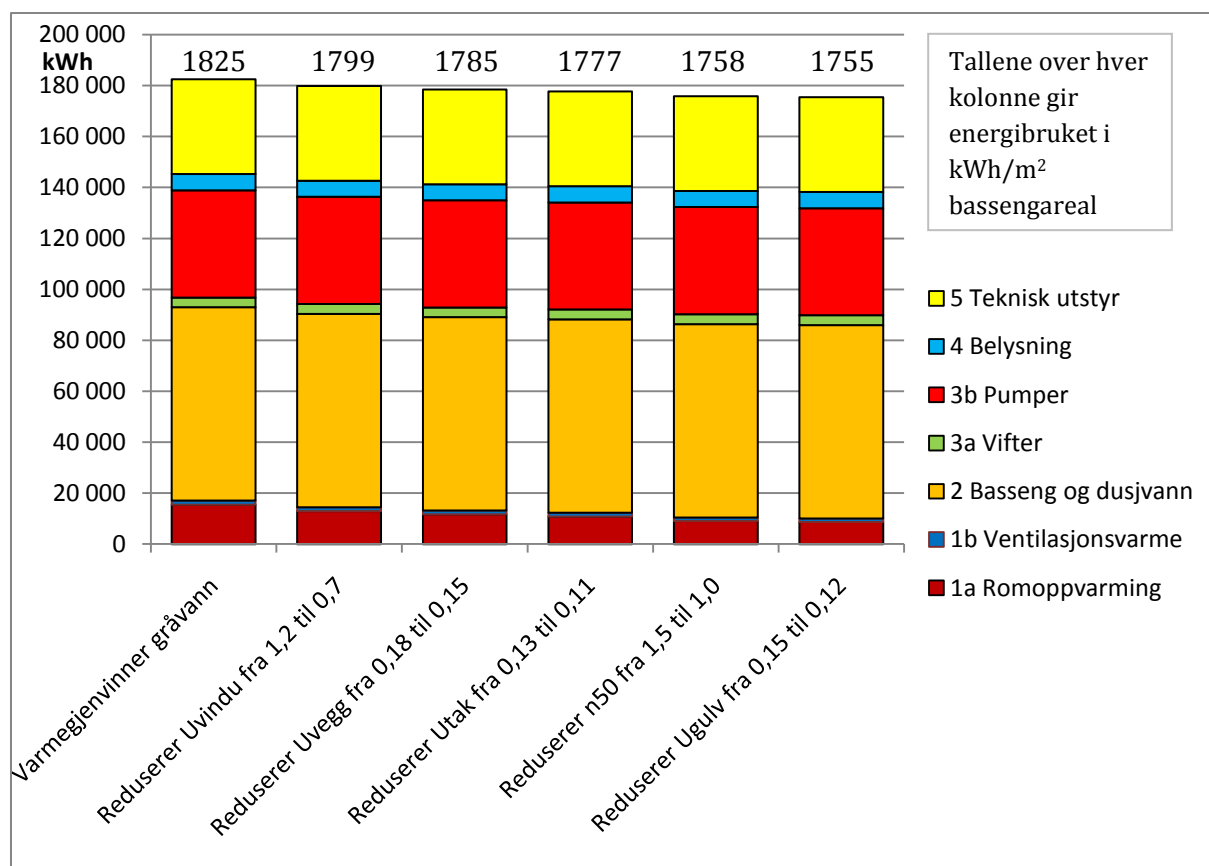
En annen effekt av det lave vindusarealet er byggets økte tetthet. Rundt vinduene er det flere vanskelige detaljer som det er vanskelig å få tett, og færre vinduer vil derfor begrense antallet lekkasjepunkter.

Basert på dette kan det sluttet at det samlede vindusarealet bør begrenses. Når bare en del av bygget trenger vinduer, og resten av bygget har et begrenset behov for dette vil det være rimelig å sette som krav at det totale vindusarealet ikke skal overstige 10 % av BRA.

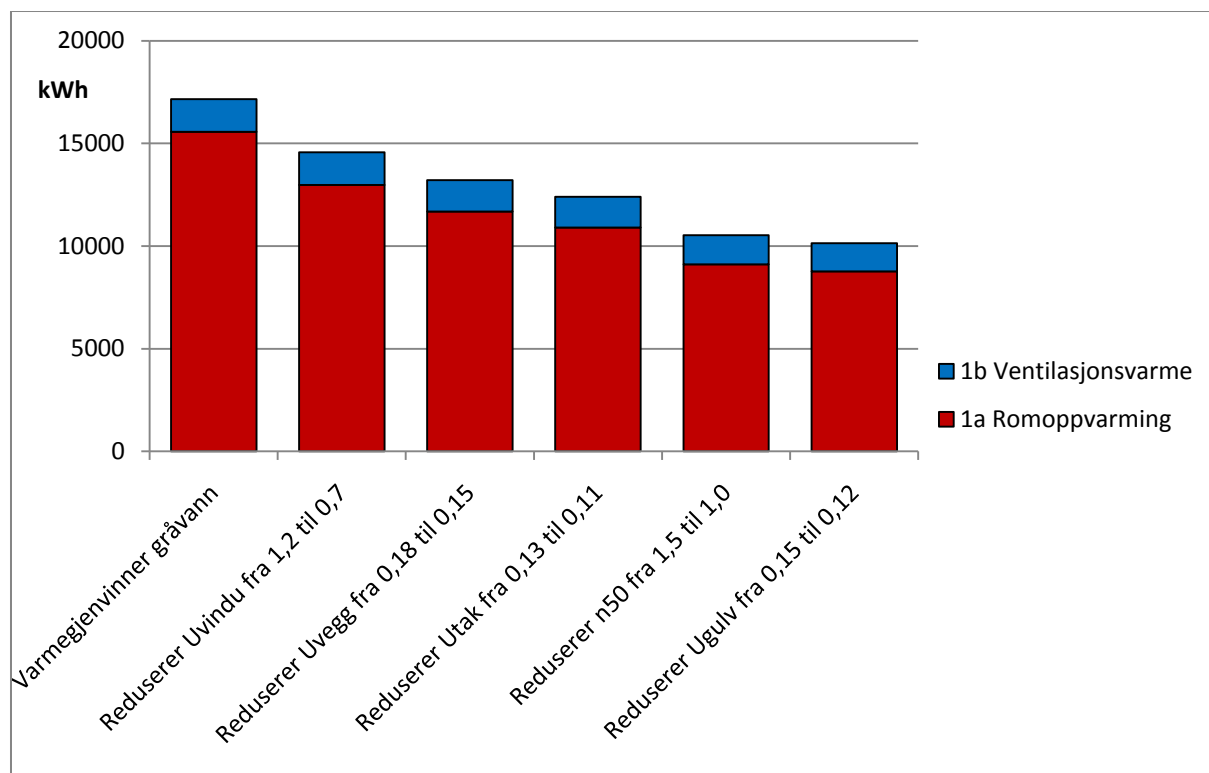
6.2.2 VEGGER

I modellen i Simien er det gjort beregninger hvor effekten av flere tiltak er vurdert. I Figur 15 er det resulterende forbruket av energi gjengitt for svømmehallen etter at U -verdien til veggene, taket, vinduene og gulvet er redusert, og tettheten til hele bygget er økt.

Det går tydelig frem av stolpediagrammet at det meste av energien går med til oppvarming av vann til dusj og basseng, pumper og det tekniske utstyret til gråvannsgjenvinning og avfukting av luften. Alle disse postene vil ikke kunne reduseres med etterisolering og utbedring av bygningskroppen. Det er bare de to nederste postene *Ventilasjonsvarme* og *Romoppvarming*, som er vist mer utdypende i Figur 15b, som vil bli påvirket av de bygningsmessige utbedringene. Selv om dette prosentvis er små energisluk vil det likevel være interessant å vurdere den potensielle effekten av å gjøre utbedringer her.



Figur 15a - Energibruk i svømmehallen etter økt isolering og tetting



Figur 15b - Energibruk til oppvarming. Samme tiltak som i Figur 15

Den første og andre kolonnen i Figur 15a viser reduksjonen på 2580 kWh ved å bytte ut vinduene slik det er beskrevet i avsnitt 6.2.1. I Figur 15b er energibruket som går med til oppvarming vist mer detaljert siden den blir vanskelig å skille ut i søylene for totalt forbruk.

Den tredje kolonnen i begge figurene viser energibruket etter at veggene er isolert med 50 mm ekstra isolasjon. Dette gir en reduksjon på litt over 1350 kWh. Det totale veggarealet til svømmehallen er 285 m². Kostnadene på isolasjonsmaterialer og treverk til veggen er gitt i Tabell 9. Det kan ses vekk fra ekstra arbeidstid, siden den eneste forskjellen i arbeidsmengde vil være å håndtere materialer av litt større dimensjoner. Etter nåverdiberegninger med 7 % rentefot vil tiltaket være nedbetalt etter 16 år.

Tabell 9 - Priser på isolasjonsmaterialer til veggene (byggmax.com 2010)

	Isolasjonsplate lambda 0,037	Totalt for 285 m ² fasade
Pris 250 mm isolasjon	99,9 kr/m ²	28 500 kr
Pris 300 mm isolasjon	129,9 kr/m ²	37 050 kr
Differanse	30 kr/m²	8550 kr
	Konstruksjonstrevirke	261,25 lm
250 x 36 mm	34,4 kr/lm	8 987 kr
300 x 36 mm	39,9 kr/lm	10 423 kr
Differanse	5,5 kr/lm	1436 kr
Total differanse		9986 kr

Det anbefales å skjerpe inn kravet til veggens U-verdi til 0,15 W/m²K.

6.2.3 TAK

Arbeidet med å øke isolasjonstykkelsen i taket er billigere enn å øke tykkelsen på veggene. For veggkonstruksjonen er det nødvendig med stenderverk i tre mellom isolasjonsfeltene for å sikre spikerslag til kledningen. På taket derimot er det bindere som holder isolasjonen på plass uten bruk av stenderverk, og det blir enklere og billigere å øke isolasjonstykkelsen. En annen faktor er at økt tykkelse på taket ikke vil gi dårligere og lavere utnyttelse av tomten slik tykkere vegger vil føre til. Den trykkfaste isolasjonen som er nødvendig på taket er imidlertid dyrere enn mineralullen som benyttes i veggene, og kombinert med at takarealet er større enn fasadearealet vil materialkostnadene dermed bli høyere enn de ble ved å øke isolasjonstykkelsen i veggene.

Kravene som er gitt i TEK er strenge for tak. Som nevnt i avsnitt 6.2.2 vil det oppnås liten reduksjon i U-verdien ved å øke isolasjonstykkelsen utover det som er nødvendig for å oppfylle kravet på 0,13 W/m²K. I Figur 15a og b er det i den fjerde kolonnen vist energibruket etter at taket er isolert med 50 mm ekstra isolasjon og har fått redusert U-verdien til 0,11 W/m²K. Den totale innsparingen blir her 822 kWh.

Tabell 10 - Priser på isolasjonsmaterialer til taket (byggmax.com 2010)

	Isolasjonsplate EPS	Totalt for 343 m ² tak
Pris 300 mm isolasjon	209,9 kr/m ²	71 996 kr
Pris 350 mm isolasjon	244,8 kr/m ²	83 966 kr
Differanse	34,9 kr/m²	11 970 kr

I Tabell 10 er prisdifferansen på de to isolasjonsutførelsene til taket vist. Med en høyere investeringskostnad, og lavere årlig innsparing enn for veggene, er det tydelig at dette tiltaket vil være mindre økonomisk enn å øke isolasjonstykkelsen i veggene. Med tilsvarende nåverdiberegninger som er utført for veggene og vinduene vil bare 68 % av tiltaket være spart inn etter 30 år.

Avhengig av politisk vilje og ønske om miljøvennlig profil kan dette tiltaket i noen tilfeller betraktes som fornuftig til tross for at det ikke er økonomisk lønnsomt basert på tallene som er lagt til grunn her. Dette vil ikke bli behandlet videre i denne oppgaven.

Det anbefales ikke å isolere taket ut over det som er anbefalt for å oppnå det gjeldende U-verdikravet på $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.2.4 TETTHET

For å hindre trekk og utilsiktet ventilasjon stilles det i TEK krav til tetthet for bygninger. For svømmehaller er det som nevnt i kapittel 2.4 ekstra viktig med en tett bygningskropp for å unngå varmetap ved konveksjon og for å hindre den varme og fuktige inneluften fra å sive utover i konstruksjonen hvor den kan kondensere.

Kravet til tetthet stilles i form av antall luftskifter under et påført trykk på 50 Pa. Myndighetskravet for alle bygningstyper er 1,5 luftskifter per time, unntatt for småhus hvor kravet er romsligere med 2,5. God tetthet oppnås ved å velge enkle løsninger, og utføre disse på en nøyaktig og riktig måte. Det krever med andre ord ikke ekstra materialer, men litt ekstra prosjektering og noe lengre produksjonstid for håndverkerne.

I en artikkel viser Holøs og Relander (2009) at det er fullt mulig å oppnå et lekkasjetall n_{50} på 1,0 luftskifter per time for trebygninger ved å bruke vanlige materialer og løsninger, men med større nøyaktighet ved utførelsen. For bygninger i betong, som i utgangspunktet er tettere enn trehus vil det derfor ikke være et for strengt krav å sette at n_{50} skal være bedre enn 1,0.

Når bygget ventileres med undertrykksventilasjon blir den kalde uteluften til dels sugd inn gjennom utettheter i bygget uten mulighet til å forvarmes i ventilasjonssystemet. Dette vil føre til et høyere oppvarmingsbehov enn hvis tilluften kommer inn i bygget gjennom varmevekslerne og varmpumpene i ventilasjonssystemet, og slik utnytter varmen til avkastluften. For bygg med undertrykksventilasjon vil det derfor være ekstra viktig med en tett bygningskropp slik at de uønskede luftskiftene kan holdes på et minimum.

Den femte stolpen i Figur 15a og b viser energibruken til svømmehallen etter at tetthetstallet er forbedret til 1,0. Det fører til en reduksjon på 1865 kWh til oppvarmingsbehovet for hele svømmehallen. Tiltaket har også ringvirkninger i form av redusert risiko for fuktskader. Siden det er vanskelig å vurdere den ekstra kostnaden knyttet til dette tiltaket, er det ikke mulig å si i hvor stor grad det lønner seg økonomisk. Det vil likevel anbefales å øke byggets tetthet til et tetthetstall n_{50} ikke større enn 1,0 luftskifter/time.

6.2.5 GULV PÅ GRUNNEN

Å legge et tykkere lag med isolasjon under gulvet vil i likhet med å øke isolasjonstykkelsen i taket være relativt enkelt å utføre, uten at det kommer i konflikt med tomteutnyttelsen eller krever ekstra stenderverk for å holde det på plass. Det er imidlertid også vanlig å bruke den

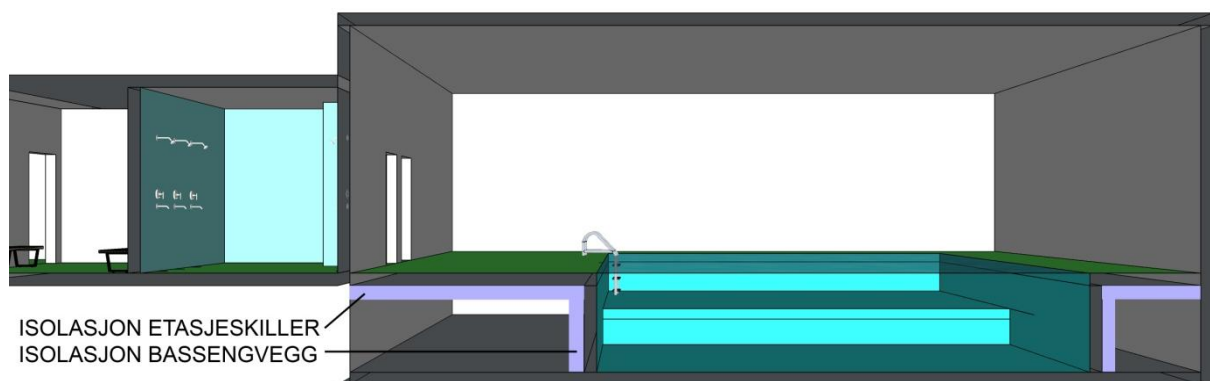
dyrere trykkfaste EPS-isolasjonen på samme måte som for taket, og det ekstra isolasjonslaget vil derfor føre til en betydelig ekstra materialkostnad.

U-verdiene til gulv på grunnen avhenger av flere parametre som grunnforhold, isolasjonstykkelse, og forholdet mellom gulvets areal og omkrets. For å tilfredsstille kravet i TEK om en U-verdi på rundt $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ er det nødvendig med et isolasjonslag på 200 mm i grunnen. Hvis det økes til 250 mm isolasjon vil dette gi en U-verdi på rundt $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette tiltaket er vist i den sjette søylen i Figur 15a og b, og gir en reduksjon i energiforbruket på 385 kWh. Med en lavere årlig innsparing, og den samme investeringskostnaden som for taket, vil dette tiltaket ikke være lønnsomt. Etter 30 år vil bare 32 % av tiltaket være spart inn, og det vil følgelig være vanskelig å rettferdiggjøre å øke isolasjonstykkelsen i gulvet. Det anbefales derfor ikke å øke isolasjonstykkelsen i gulvet.

6.3 ISOLERING AV INSPEKSJONGANGENE

I inspeksjongangene rundt svømmebassenget er det en del oppvarmet areal som grunnet det varme bassengvannet og den varme luften i svømmehallen holder en betydelig høyere temperatur enn det som er nødvendig for at den vanlige driften skal fungere.

Bjørn Aas i Asplan Viak foreslo å undersøke effekten av å isolere bassengveggen og etasjeskilleren over inspeksjongangen som vist i Figur 16. Til tross for at dette går på akkord med muligheten for visuelt å kunne inspisere bassengveggene for lekkasjer, saltutslag, oppståtte skader og lignende, vil det være interessant å se på hvilke muligheter dette kan gi i form av energisparing. Det er tatt utgangspunkt i svømmehallen med de endringer som er anbefalt i de foregående avsnittene. Beregningene i Simien gir at energiforbruket nå er kommet ned i 177 764 kWh for hele svømmehallen.



Figur 16 - Snitt av svømmehall med isolasjon rundt inspeksjongangen

For å undersøke effekten av de forskjellige tiltakene er det i Simien kjørt simuleringer med tre forskjellige varianter av isolasjonsutføringen:

1. Isolerer bassengveggen alene med 200 mm EPS-isolasjon:
 - Energibruket reduseres med 55 kWh
2. Isolerer etasjeskilleren alene med 200 mm EPS-isolasjon:
 - Energibruket reduseres med 1712 kWh
3. Isolerer både etasjeskilleren og veggen:
 - Energibruket reduseres med 2071 kWh

Her går det fram at det gir en relativt beskjeden effekt å isolere bare bassengveggen. Når bare etasjeskilleren isoleres gir det imidlertid større reduksjon i energiforbruket. Temperaturen i inspeksjonsgangen reduseres og legger seg på et mer fornuftig temperaturnivå i forhold til hva rommet skal brukes til. Når både veggen og etasjeskilleren isoleres blir det en ytterligere reduksjon i energibruket, og temperaturen er nå kommet ned til mellom 10 og 15 °C som er en passelig temperatur for et teknisk rom uten mye aktivitet.

Resultatene som kommer fram i disse beregningene virker til dels urimelige. Basert på at bassengveggen har nesten dobbelt så høy U-verdi som etasjeskilleren, og at arealet til etasjeskilleren er nesten dobbelt så stort som arealet til bassengveggen, er det nærliggende å tro at det skulle gi en tilnærmet lik effekt både å isolere bassengveggen og å isolere etasjeskilleren. En liten differanse er å forvente siden det i praksis er et litt høyere temperaturpotensial mellom svømmehallen og inspeksjonsgangen enn mellom bassenget og inspeksjonsgangen. Noe av denne unøyaktigheten skyldes at bassengvannet i stor grad er varmet opp av bassengvannskondensatoren som overfører varme fra varmegjenvinneren på ventilasjonsluften. I modellen i Simien blir det derfor ikke tatt høyde for energien som går med til å holde temperaturen på 28 °C i bassengsonen, mens det går med noe energi til oppvarming i sonen som utgjør selve svømmehallen. Det mest korrekte tallet må derfor være det som oppnås ved å isolere både etasjeskilleren og inspeksjonsgangen.

Grunnet at det som nevnt ikke er optimalt å isolere bassengveggen kan det settes som et krav at bassengveggen skal isoleres etter at bassenget har vært i drift et år. Hvis det ved bygging klargjøres for isolering vil det være raskt og enkelt å isolere bassengveggen mens bassenget er i drift. Ved å la bassengkonstruksjonen stå uisolert det første driftsåret vil det i løpet av den første driften være mulig å avdekke eventuelle skader i betongen som følge av produksjonen. Hvis bassenget fungerer som ønsket etter et år kan isolasjonen legges på og føre til innsparing i energibruk for de påfølgende årene.

I et totaløkonomisk perspektiv kunne det vært ønskelig å fjerne deler av isolasjonen i fasaden til inspeksjonsgangene når bassengveggen og etasjeskilleren isoleres. Forsøk i Simien viser imidlertid at det fører til en betydelig økning i energibruket igjen. Det er uansett ønskelig å ha et visst nivå på temperaturen i inspeksjonsgangen, både for å kunne føre rør frostfritt og for å tillate opptørking av eventuelle mindre lekkasjer.

6.3.1 LØNNSOMHET AV ISOLERING AV INSPEKSJONSGANGEN

I Tabell 11 er det vist hvilken innsparing som oppnås ved å isolere etasjeskilleren og bassengveggen med forskjellige tykkelser av isolasjon. Det interessante her er hvor stor effekt det gir å bruke bare 50 mm EPS-isolasjon i etasjeskilleren. Med en reduksjon på 1618 kWh er dette 77 % av det som er mulig å oppnå ved å benytte tre ganger så mye isolasjon. Hvis isolasjonstykkelsen i etasjeskilleren begrenses til 50 mm vil tiltaket være nedbetalt etter 7 år, og etter tretti år vil inntjeningen nesten være lik tre ganger investeringen. Dette er ikke snakk om store summer for et stort offentlig bygg, men når tiltaket betaler seg etter en brøkdel av byggets forventede tekniske levetid på 20 til 30 år, må det betraktes som et fornuftig tiltak for å begrense energiforbruket i svømmehallen.

Det vil som vist i Tabell 11 også være økonomisk gunstig å isolere etasjeskilleren med 100 mm og 150 mm isolasjon hvis man sammenligner det med å ikke ha isolasjon i det hele tatt. Hvis det

på samme måte som i kapittel 6.2 sammenlignes med allerede isolerte utførelser er det bare den første utførelsen med 50 mm isolasjon som vil lønne seg.

Tabell 11 - Kostnad og innsparing ved isolering av etasjeskilleren og bassengveggen på totalt 187,8 m² over inspeksjonsgangene

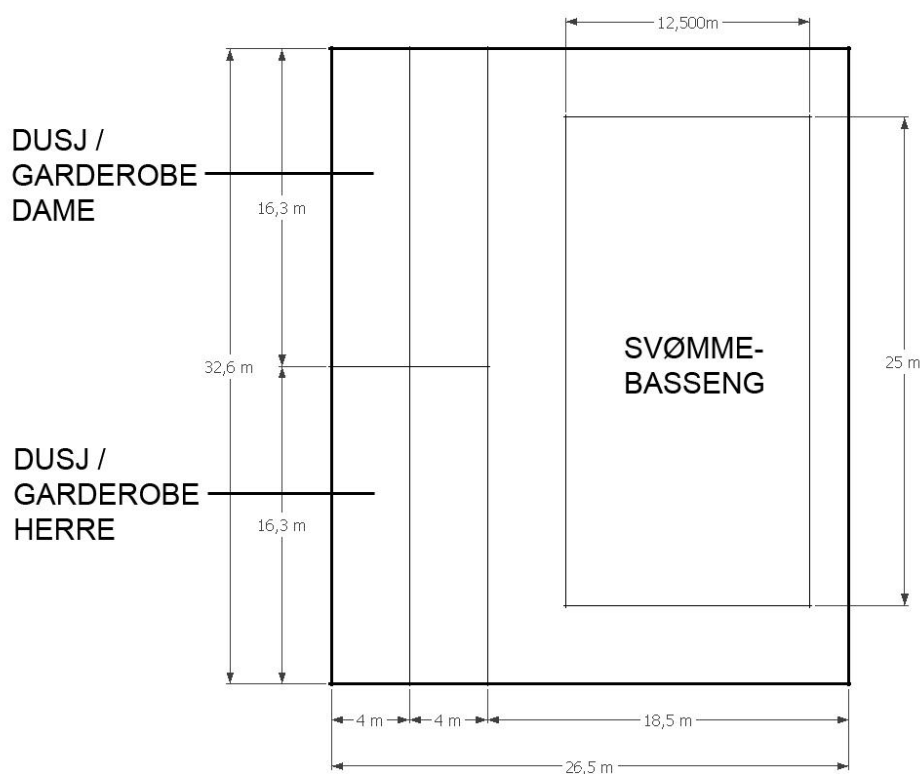
Tykkelse isolasjon	Pris per m ² (kr/m ²)	Total kostnad (kr)	Spart energi (kWh)	Nedbetalingstid (år)	Nedbetalt etter 30 år
50 mm	34,95	6 564	1618	7	244 %
100 mm	64,95	12 198	2086	11	170 %
150 mm	99,9	18 761	2116	23	112 %
200 mm	129,9	24 395	2071	aldri	84 %

Nederst i Tabell 11 går det frem at det gir dårligere innsparing når det benyttes 200 mm isolasjon sammenlignet med å benytte 150 mm. Dette skyldes at strømmen av overskuddsvarme inn til inspeksjonsgangen blir så liten at for å opprettholde ønsket minstetemperatur er det nødvendig med ekstra oppvarming.

Det anbefales å redusere U-verdien til bassengveggen og inspeksjonsgangens etasjeskiller til henholdsvis 0,61 og 0,54 W/m²K, tilsvarende 50 mm EPS isolasjon over 200 mm betong.

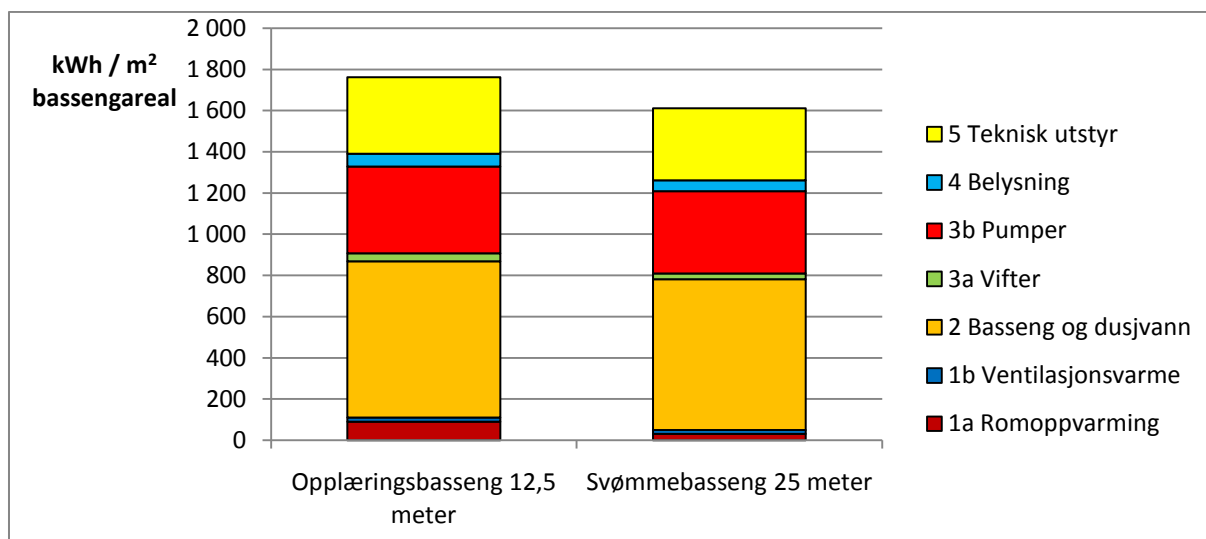
6.4 STØRRELSE PÅ BASSENG OG SVØMMEHALL

Det er også gjort beregninger for et 25-metersbasseng for å vurdere hvor representative resultatene for opplæringsbassenget er for svømmehaller av andre størrelser og dimensjoner enn 12,5-metersbassenget. På samme måte som for opplæringsbassenget i de foregående beregningene, er størrelsen på svømmehallen med 25-metersbassenget (Figur 17) bestemt på bakgrunn av kravene gitt av Norges Svømmeforbund (2009).



Figur 17 - Planskisse 25-metersbasseng

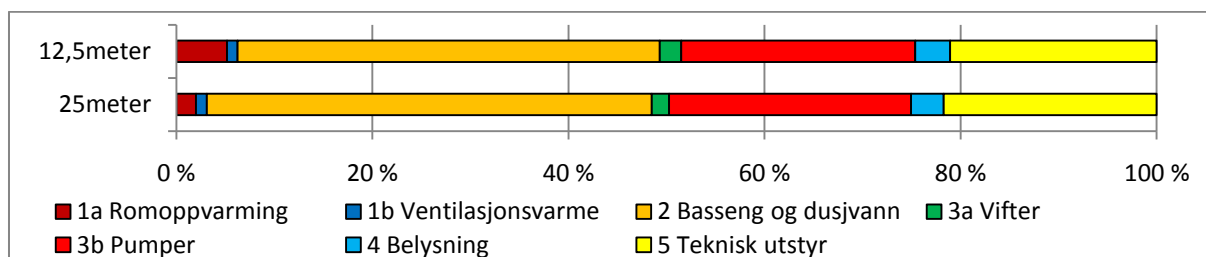
De samme antagelsene som for opplæringsbassenget ligger til grunn. Til tross for at bassenget her blir nesten fire ganger større, er det bare antatt ti flere brukere i timen. Dette skyldes at det ikke vil være rimelig å anta at sikkerheten skal kunne ivaretas med mer enn 40 samtidige brukere i bassenget.



Figur 18 - Energiforbruk per bassengareal for 12,5- og 25-metersbasseng

I Figur 18 er det vist energiforbruk per bassengareal både for svømmehallen med 25-metersbasseng og for den med 12,5-metersbasseng. Det går her frem at det spesifikke energiforbruket blir litt lavere for den store svømmehallen, noe som til dels skyldes at det er færre brukere per bassengareal, og følgelig er det færre brukere av dusjanlegget som er et av de store energislukene.

Et lavere spesifikt energibruk for større svømmehaller stemmer også godt overens med resultatene fra den danske undersøkelsen (kapittel 4.2). Der er bassengene klassifisert i tre klasser etter bassengareal, mindre enn 300 m², mellom 300 og 600 m², og over 600 m². For de største svømmehallene med en vannflate over 600 m² er det spesifikke energiforbruket under 70 % av energiforbruket til de minste svømmehallene.



Figur 19 - Prosentvis fordeling av energibrukspostene for begge svømmehallene

Som vist i Figur 19 er den prosentvise fordelingen av forbrukspostene ganske lik for de to svømmehallene. I den minste svømmehallen går en litt større andel av energien med til romoppvarming, noe som mest sannsynlig skyldes et lavere varmetilskudd fra personer, dusjing og teknisk utstyr. I 12,5-metersbassenget utgjør bassengarealet 27 % av det totale arealet sammenlignet med 36 % i 25-metersbassenget. Det betyr at begge svømmehallene har en relativt høy arealandel sammenlignet med utvalget til Enova som er vist i Figur 1a og b, og

følgelig vil det være vanskelig å si hvordan et eventuelt energiforbruk vil bli for svømmehaller med en arealandel ned i 5 - 10 % slik noen av svømmehallene i utvalget har.

Den viktigste konklusjonen å trekke fra resultatet for 25-metersbassenget blir likevel at resultatene for opplæringsbassenget på 12,5 meter vil være oppnåelige verdier for større basseng. Hvis et eventuelt TEK-krav settes som oppnåelig for det minste bassenget vil det være fullt mulig for større basseng å komme seg innenfor kravene.

6.5 FEILKILDER OG USIKKERHET

Beregningsprogrammet Simien er ikke laget for svømmehaller, og det er ikke tilrettelagt for å automatisk legge inn inndata for bassengvann og fordampning. I denne oppgaven er det derfor gjort en del tilnærminger som fører med seg usikkerhet.

Spesielt er fordampningen fra bassengvannet en viktig faktor som ikke blir korrekt inkludert i modellen. Selv om det er satt at temperaturen i vannet og luften skal være henholdsvis 28 og 30 °C vil disse svinge gjennom døgnet og året. Dette vil påvirke den reelle fordampningsmengden fra bassenget, men vil ikke bli tatt med i simuleringen, siden den beregnede fordampningsmengden er funnet med konstante temperaturer i vannet og luften.

Temperaturen i de forskjellige rommene i svømmehallen svinger en del og blir relativt høy gjennom den varme delen av året. Det er ikke inkludert kjøling i modellen, da dette er antatt å bli regulert av avfukteren og ventilasjonssystemet uten ekstra energibehov. Ved å regulere forholdet mellom friskluft og tilluft, og ved å regulere virkningsgraden på varmegjenvinnerne og varmpumpene, vil det være rom for å styre temperaturen lavere enn det den blir i beregningene i Simien.

Det er ikke tatt med spesielle funksjoner som for eksempel badstu. Det er ikke antatt å være relevant med badstu i et opplæringsbasseng, men i noen tilfeller kan det likevel være aktuelt, og da vil det føre til et høyere energiforbruk. Dansk Svømmebadsteknisk Forening (1992) mener at energibruket til badstu kan utgjøre så mye som 20 % av det totale energibehovet, og følgelig vil det være av stor betydning i forhold til å oppnå eventuelle myndighetskrav.

6.5.1 USIKKERHET I ANTAGELSENE

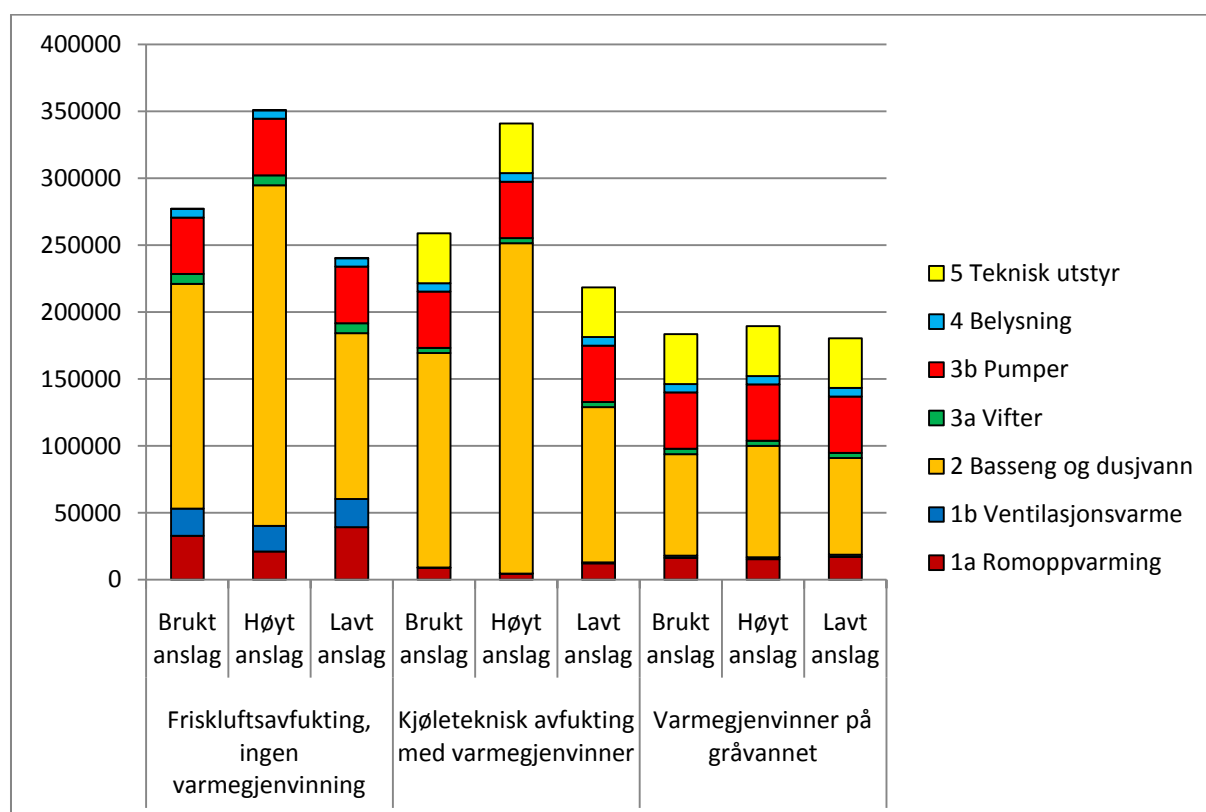
Når svømmehallen drives uten varmegjenvinning på gråvannet utgjør oppvarming av vann til dusjing en betydelig andel av energibruket. Antagelsene om antall brukere og hver brukers dusjtid kan derfor føre til store variasjoner i det endelige resultatet.

I Tabell 12 er det vist tre forskjellige anslag på antall brukere av anlegget, og hvor lenge hver bruker står i dusjen. Det er også vist hvor stort utslag dette gir på energibruket som går med til oppvarming av dusjvannet, både med og uten varmegjenvinner på gråvannet. Alle de tre anslagene må regnes som realistiske og rimelige. Enova (2009) gir at vannforbruket til moderne sparedusjer varierer fra 6 til 10 liter per minutt. Bjørn Aas (2010) bekrefter at det er vanlig å regne med at hver bruker dusjer i tre minutter før og tre minutter etter hvert bad, men en antagelse på fem minutter vil være rimelig hvis brukergruppen hovedsakelig er små barn som helst ikke vil vaske seg. Åtte minutter vil på den andre siden være rimelig hvis brukerne er eldre skoleelever som gjerne har et annet forhold til hygiene. I utkantsteder vil det være rimelig å anta at det bare er 25 samtidige brukere i hver skoleklasse, mens det i tettere befolkede byer vil være rimelig å anta at det er så mange som 35 brukere hver time.

Tabell 12 - Anslag og resulterende energibruk til dusjing

		Høyt anslag	Brukt anslag	Lavt anslag
Antagelser	Vannforbruk dusj (liter/min)	10	8	6
	Dusjtid/bruker (min)	8	6	5
	Brukere/time	35	30	25
Energibruk til dusjvann	Ingen varmegjenvinning (W/m ²)	655	337	175,5
	Varmegjenvinner på gråvannet (W/m ²)	54	28	14,6

Figur 20 viser hvor stort utslag de forskjellige anslagene på dusjing gir på det totale energibruket til hele svømmehallen. Det går tydelig frem at dette gir størst utslag før det installeres varmegjenvinner på gråvannet. Etter at det er installert varmegjenvinner på gråvannet utgjør energibruket som går med til oppvarming av dusjvann en mindre andel av det totale energibruket, og de valgte antagelsene er mindre kritiske. Dette betyr at det vil være svært avgjørende med riktige antagelser knyttet til bruk av dusjanlegget, hvis utbedringer skal gjøres på svømmehallen som drives med friskluftsavfukting uten varmegjenvinnere på vann og ventilasjon. Hvis det derimot, som i dette tilfellet, skal installeres tekniske installasjoner som reduserer energibehovet til vannoppvarming, vil det være av mindre kritisk betydning.



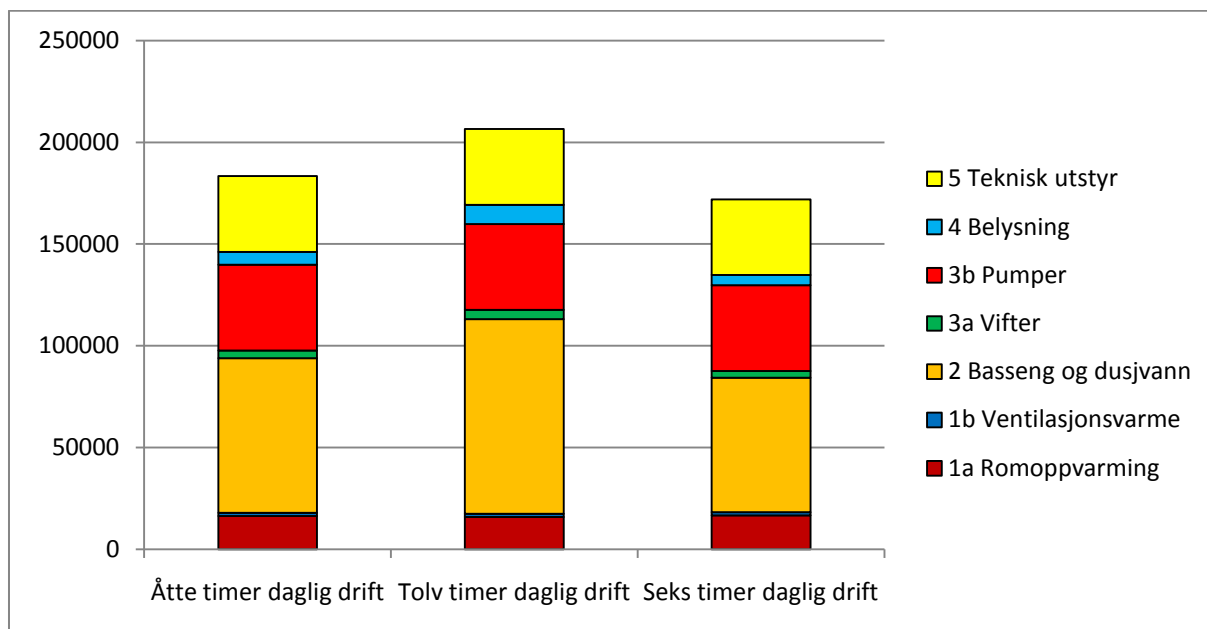
Figur 20 - Utslaget av variasjon i antagelser om dusjtid og dusjmengder

6.5.2 ÅPNINGSTIDEN TIL ANLEGGET

Med betydelig forskjell mellom energibruk i og utenfor anleggets åpningstid vil antagelsene knyttet til driftstider ha stor betydning. I beregningene er det i tråd med vanlig skoleuke og NS 3031 antatt åtte timers daglig drift fem dager i uken. Enkelte plasser med stor pågang kan det

være aktuelt med drift også om ettermiddagen, f. eks. helt opp i tolv timer daglig, mens andre steder vil det være mer rimelig med seks timer drift om dagen.

I Figur 21 er det vist hvordan det totale energiforbruket varierer som en følge av forskjeller i driftstiden. Hvis åpningstiden utvides fra åtte timer til tolv timer vil det totale energiforbruket øke med ca 13 %, og tilsvarende hvis åpningstiden begrenses til seks timer vil energiforbruket reduseres med ca 6 %.



Figur 21 - Utslaget av variasjon i antagelser om åpningstider

7 KONKLUSJON

7.1 KONKLUSJON

Målet med denne oppgaven er å vurdere om det for svømmehaller er behov for egne regler i teknisk forskrift til plan og bygningsloven (TEK 2010). Svømmehaller er en spesiell bygningstype, og passer ikke inn i noen av kategoriene som er med i den gjeldende versjonen av TEK. Bygget etter kravene til energiltak blir det årlige forbruket av energi tre ganger høyere enn rammekravene som er gitt for kategorien *idrettshaller*. Det er derfor nødvendig med egne krav til svømmehaller i forskriften.

For svømmehaller er mye av energibruket knyttet til bassengets størrelse, og det vil være mer nøyaktig og beskrivende å oppgi det spesifikke energibruket per bassengareal, i stedet for per bruksareal (BRA) som er brukt for de andre bygningstypene i TEK. Statistikken viser at for de eksisterende svømmehallene ligger energiforbruket rundt 500 kWh/m² BRA i Norge og litt over 3000 kWh/m² bassengareal i Danmark. Statistikken viser også hvor avgjørende arealandelen til bassenget er.

Energibruksberegninger i Simien viser at det største energiforbruket stammer fra fordampning av bassengvann og oppvarming av dusjvann. For opplæringsbassenget beregnet i denne oppgaven vil det årlige energibruket bli 2786 kWh/m² bassengareal for svømmehallen bygget med bygningsdeler som oppfyller kravene til energiltak i TEK-2010, og med friskluftsavfukting av bassenglufte. Hvis friskluftavfuktingen byttes ut med kjøleteknisk avfukting og hvis varmen til gråvannet blir gjenvunnet, reduseres energibruket til 1825 kWh/m² bassengareal.

Ved å undersøke effekten av å redusere U-verdien til bygningsdelene kom det fram at det gir en økonomisk gevinst ved å redusere U-verdien til vinduene og fasadene, og ved å øke tettheten til hele bygget. Taket, og gulvet på grunnen gir ikke tilstrekkelig reduksjon i energiforbruket til at det er mulig å forsvare den økte investeringskostnaden. Etter å ha gjort de lønnsomme utbedringene er energiforbruket redusert til 1778 kWh/m² bassengareal.

Energiforbruket er ytterligere redusert ved å isolere inspeksjonsgangene som går rundt svømmebassenget. 100 mm isolasjon i bassengveggen og i etasjeskilleren mellom inspeksjonsgangen og svømmehallen gir en reduksjon på 21 kWh/m² bassengareal. Dette går på akkord med ønsket om å kunne inspisere bassengveggene for lekkasjer og skader, men hvis isolasjonen først monteres etter et års drift vil problemene som stammer fra byggingen være avdekket og eventuelt utbedret. Det vil være nødvendig med ytterligere undersøkelser før dette tiltaket kan anbefales brukt i svømmehaller.

Det spesifikke energibruket per bassengareal vil bli noe lavere for svømmehaller med større svømmebasseng og omtrentlig lik bassengarealandel som svømmehallen beregningene er utført for i denne oppgaven. Det betyr at resultatene vil være gyldig og oppnåelig også for større svømmehaller.

7.2 FORSLAG TIL TEK-KRAV

Basert på beregningene presentert i kapittel 6 er det her foreslått krav til energiltak tilsvarende de som er gitt i TEK-2010.

§ 14-3 Energiltak

Bygning skal ha følgende energikvaliteter:

- a) Transmisjonsvarmetap
 - 1. Andel vindus- og dørareal $\leq 10\%$ av oppvarmet BRA
 - 2. U-verdi yttervegg $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - 3. U-verdi tak $\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - 4. U-verdi gulv $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - 5. U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme $\leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - 6. U-verdi bassengvegg $\leq 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - 7. U-verdi etasjeskiller inspeksjonsgang $\leq 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$
- b) Infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap
 - 1. Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell
 - Svømmehaller $\leq 1,0$ luftvekslinger/time

For øvrig de samme kravene som gitt i TEK-2010.

§ 14-4 Energirammer

Totalt netto energibehov for bygning skal ikke overstige rammer gitt i følgende tabell:

Tabell 13 - Energiramme

Bygningskategori	Totalt netto energibehov (kWh/m^2 bassengareal pr. år)
Svømmehall	1780

7.3 VIDERE ARBEID

Statistikken som er presentert i denne oppgaven gir ikke et nøyaktig og representativt tall på det faktiske energibruket i svømmehaller. Det bør derfor som videre arbeid gjøres gode og detaljerte målinger av forbrukt energi til de forskjellige funksjonene i et utvalg svømmehaller. Det vil være interessant å følge endringer i energiforbruket, hvis det på eksisterende svømmehaller utføres tiltak som isolering av inspeksjonsgangene, eller hvis det benyttes bassengovertrekk utenom driftstiden.

Beregningene som er utført i denne rapporten er for et lite svømmebasseng med en høy arealandel basseng. Beregningene er gjentatt for et større svømmebasseng, men også dette har en høy arealandel basseng. Det ble en liten reduksjon i energiforbruket per bassengareal for det større bassenget, og det vil derfor være interessant å se hvordan dette er for enda større svømmebasseng. Hvis det er en lineær synkende trend for energibruket per bassengareal for svømmehaller med større svømmebasseng, kan rammekravet til energibruk oppgis som en funksjon av bassengareal på samme måte som rammekravet for småhus oppgis i TEK-2010.

For begge arealutførelsene som er beregnet i denne rapporten er det tatt utgangspunkt i minstekravene gitt fra Norges Svømmeforbund. Disse har begge en høy arealandel basseng. Det kunne vært interessant å gjøre beregninger for svømmehaller med en lavere arealandel basseng, for å se hvordan dette påvirker energiforbruket per bassengareal, og om disse bassengene fremdeles vil tilfredsstille kravene gitt i denne rapporten.

Mulighetene for å kunne benytte et bassengovertrekk utenom driftstiden bør undersøkes nærmere. Hvis det finnes et velfungerende produkt kan det også eksperimenteres med nattesenkning av romtemperaturen. Den anbefalte temperaturdifferansen på 2 °C vil ikke lenger være avgjørende hvis fordampningen forhindres av bassengovertrekket.

8 KILDER

Aas, Bjørn (2010), Rådgiver energi og miljø, Asplan Viak, Muntlig meddelelse.

Brambley, M. R., Wells, S. E. (1982) *Energy-Conservation measures for indoor swimming pools*. Energy, vol. 8 no.6 side 403 til 418 (Tidsskrift artikkel)

Bringe, Helge (1985) *Rapport 96: Svømmehaller – Erfaringer, skader, utbedringsforslag*. Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt

Byggforsk (2008a), detaljblad 700.110 *Byggskader. Oversikt*

(2008b), detaljblad 523.002 *Yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger*

(2007), detaljblad 525.207 *Kompakte tak*

(2003a), detaljblad 552.315 *Ventilasjon og avfukting i svømmehaller og rom med svømmebasseng*

(2003b), detaljblad 471.012 *U-verdier. Vegger over terreng*

(2003c), detaljblad 471.013 *U-verdier. Tak*

(1992), detaljblad 527.245 *Rom med høy fuktbelastning*

Byggmax.com (2010), www.byggmax.com, *Billige byggevarer på nett*

Bøhlerengen, T., Mehus, J., Waldum, A., Blom, P., Farstad, T. (2004) *Byggforsk håndbok 52: Bade- og svømmeanlegg*. Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt

Dansk Svømmebadteknisk Forening (1992) *Energiteknik i svømmehaller*. Danmark: Dansk Svømmebadsteknisk Forening Publikation nr. 32/1992

Edvardsen, K. I., Ramstad, T. Ø. (2007) *Byggforsk håndbok 53: Trehus*. Oslo: Norges Byggforskningsinstitutt

Enova (2009), *Bytt til strømsparende utstyr*, hjemme.enova.no

Enova (2002 – 2008), Trondheim: Enova

Enovas byggstatistikk 2008

Enovas byggstatistikk 2007

Bygningsnettverkets energistatistikk 2006

Bygningsnettverkets energistatistikk 2005

Bygningsnettverkets energistatistikk 2004

Bygningsnettverkets energistatistikk 2003

Bygningsnettverkets energistatistikk 2002

- Fjellbu, Svein Tore (2009), *Varmegjenvinning fra gråvann*, Menerga, <http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/775339/Presentasjon%20Svein%20Tore%20Fjellbu.pdf> (powerpointpresentasjon)
- Geving, S., Thue, J. V. (2002), *Byggforsk Håndbok 50: Fukt I Bygninger*. Trondheim: Norges Byggforskningsinstitutt
- hoh.no (2010), HOH Birger Christensen AS, Vannbehandling
- Holøs, S., Relander, T. (2009), *Airtightness Measurement of Wood Framed Low Energy Row Houses*, Trondheim: SINTEF/NTNU
- Kulturdepartementet (2010), www.idrettsanlegg.no, Liste over alle idrettsanlegg i Norge.
- Menerga (2010), *Fordeler med Menerga Thermo Cond – 37 – serie*, tilsendt fra Martin Risberg i Menerga AS
- Nordan.no (2010), www.nordan.no/newsread/news.asp?n=5453&wce=frame_windows
- Norges Svømmeforbund, NSF (2009), *Spesifikasjon for svømmeanlegg*. Oslo, NSF
- Norsk Bassengbad Teknisk Forening (2000), *Retningslinjer for vannbehandling i offentlige bassengbad*. Skien, NBTF
- NTNU, Sintef (2007), *Enøk i bygninger – Effektiv energibruk*, Oslo: Gyldendal Undervisning
- Programbyggerne (2010), Simien, www.programbyggerne.no (dataprogram)
- Pilkington.com (2010), *Pilkington Optitherm S3 Energispareglass*, <http://www.pilkington.com/resources/optitherms3no.pdf>
- REN (2007), Kommunal- og regionaldepartementet, Bolig- og bygningsavdelingen, *Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven*
- Standard Norge (2007) NS 3031 – *Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data*
(2003) NS 3473 – *Prosjektering av betongkonstruksjoner, Beregnings- og konstruksjonsregler*
- TEK (2007), Kommunal- og regionaldepartementet, Bolig- og bygningsavdelingen, *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk*.
- TEK (2010), Kommunal- og regionaldepartementet, Bolig- og bygningsavdelingen, *Byggteknisk forskrift*.
- Tipler, P. A., Mosca, G. (2008), *Physics For Scientists And Engineers*, New York: Freeman
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2010), *VDI 2089 – Part 1 - Building Services in swimming baths – Indoor Pools*, Tyskland: Beuth Verlag GmbH

BILAG

A. BEREGNING AV ENERGIBRUK I SVØMMEHALLEN

A.1 BASSENGVANN

A.1.1 SIRKULASJONVANN

I Tabell 14 er det vist nødvendig sirkulasjonsmengde og effektbehov for å drive sirkulasjonspumpene. Personbelastningen og disponibelt areal per person er hentet fra kapittel 3 i Retningslinjer for vannbehandling i offentlige bassengbad (NBTF 2000). For å finne den nødvendige sirkulasjonsmengden multipliseres arealet med personbelastningen dividert på det disponible arealet per person.

Tabell 14 - Beregning av nødvendig sirkulasjonsmengde i bassenget

Bassengoverflate	100	m ²
Personbelastning	2	m ³ /time badende
Disponibelt areal per pers i grunne basseng	2,7	m ²
Sirkulasjonsmengde	74,1	m ³ /time
Pumpe kapasitet 36 m ³ /time	2,2	kW
Pumpe kapasitet 45 m ³ /time	2,6	kW
Totalt effektbehov for å drive vannsirkulasjonen	4,8	kW
Fordelt på 100 m ² bassengareal	48	W/m ²

A.1.2 OPPVARMING BASSENGVANN

I Tabell 15 er det vist effektbehovet som er nødvendig for å varme opp friskvannet i bassenget. Når det benyttes bassengvannskondensator på den kjøletekniske avfukteren i svømmehallen blir den nødvendige tilførte effekten dekket av denne.

Tabell 15 - Nødvendig effekt til oppvarming av bassengvann

Antall badende	30	badende per time
Tilført mengde vann	30	liter/badende per dag
	900	liter/dag = kg/dag
Ønsket vanntemperatur	28	grader C
Temperatur på friskvannet	8	grader C
Må varme opp tilført vann	20	grader C
Elektrisk oppvarming av varmtvann		
Virkningsgrad elektrisk varmtvannsbereder	0,98	(98% av energien går med til å varme opp vannet, ihht NS3031 tab B.10)
Varmekapasitet vann	4200	kJ/kgK
Nødvendig brutto effekt	875	W
Nødvendig netto effekt	892,9	W
Areal basseng	100	m ²
Nødvendig netto effekt per m2	8,93	W/m ²
Nødvendig brutto effekt per m2	8,75	W/m ²
Ingen gråvannsgjenvinning		
Effekttall = Effektbehov / tilført effekt	1	
Nødvendig tilført effekt	8,93	W/m ²
Rekuperativ gråvannsgjenvinner		
Effekttall = Effektbehov / tilført effekt	3	
Nødvendig tilført effekt	2,92	W/m ²
Rekuperativ gråvannsgjenvinner med varmepumpe		
Effekttall = Effektbehov / tilført effekt	11,8	
Nødvendig tilført effekt	0,74	W/m ²

A.1.3 VARMEKAPASITET BASSENGVANN

Spesifikk varmekapasitet vann = 4,186 J/m³K

$$\text{cm}^3 = (10^{-2}\text{m})^3 = 10^{-6}\text{m}^3 \quad J = \text{W/s} \quad 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$4,186 \text{ J}/[(10^{-6}\text{m}^3)\text{K}] = 4,186 * 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$$

$$4,186 * 10^6 \text{ W s/m}^3\text{K} / 3600\text{s/h} = 1163 \text{ Wh/m}^3\text{K}$$

$$\text{Dyp del, dybde} = 1,6 \text{ m} \Rightarrow 1163 \text{ Wh/m}^3\text{K} * 1,6\text{m} = 1860 \text{ Wh/m}^2\text{K for dyp del}$$

$$\text{Grunn del, dybde} = 0,9 \text{ m} \Rightarrow 1163 * 10^{10} \text{ Wh/m}^3\text{K} * 0,9\text{m} = 1047 \text{ Wh/m}^2\text{K for grunn del}$$

A.1.4 FORDAMPNING BASSENGVANN

Fordampet vannmengde er gitt ved VDI 2089 1.6.1.2, og utregnede verdier er vist i Tabell 16:

$$\dot{M}_{D,B,u/b} = \frac{\beta_{u/b}}{R_D \bar{T}} (p_{D,W} - p_{D,L}) A_B$$

Tabell 16 - Fordampning fra bassengflaten

	M		kg/h	
VDI 2089 Table 5.		7	m/h	Grunn del av bassenget
		7	m/h	Dyp del av bassenget
		40	m/h	Grunn del av bassenget
		28	m/h	Dyp del av bassenget
		461,52	J/kgK	
		302	K	273+(28+30)/2
Fuktbok tab D.1.		3777	Pa	For bassengvann 28 °C
		2331,45	Pa	
	RF bassenglufft	55 %		
Fuktbok tab D.1.	p, sat luft	4239	Pa	For luft 30 grader
	AB	56,25	m ²	Grunn del av bassenget
		56,25	m ²	Dyp del av bassenget
	M [kg/h]	benyttet	ubenyttet	
	Grunn	23,34	4,08	
	Dyp	16,33	4,08	
	Sum	39,67	8,17	
	fordampning per m ²		0,15	kg/hm ²
VDI 2089 7.3.1.	Varmetap til fordampning			
	R	2270	kJ/kg	Fordampningsvarme
	m_w [kg/s]	benyttet	ubenyttet	
	Grunn	0,0064821	0,00113437	
	Dyp	0,00453747	0,00113437	
	Φ_{vd} [W/m²]	benyttet	ubenyttet	
	Grunn	261,59	45,78	
	Dyp	183,11	45,78	

A.2 VENTILASJON SVØMMEHALL

A.2.1 FRISKLUFTSAVFUKTING AV ROMLUFTEN

Romvolumet for svømmehallen er 888,7 m³. Det ønskede fuktinnholdet i romluften er ved 30 °C og 55 % RF. Metningsinnholdet i luft ved 30 °C er 30,31 g/m³, og følgelig blir fuktinnholdet ved 55 % RF 16,67 g/m³.

$$\begin{aligned}\text{Tilført fukt fra fordampning} &= (39,67 * 10^3 \text{ g/h}) / 888,7 \text{ m}^3 = \underline{44,6 \text{ g/hm}^3 \text{ i driftstiden}} \text{ og} \\ &= (7,26 * 10^3 \text{ g/h}) / 888,7 \text{ m}^3 = \underline{8,2 \text{ g/hm}^3 \text{ utenom driftstiden}}\end{aligned}$$

Tilført fukt = avgitt fukt

Ventilasjon = n luftskifter / time

$$\text{Avgitt} = (16,67 - 5,4) * n = \text{tilført} = 44,6 \text{ i driftstiden og } 8,2 \text{ utenom driftstiden}$$

n = nødvendige luftskifter for å opprettholde friskluftsavfuktingen

$$\begin{aligned}n = \text{tilført fukt} / (16,67 - 5,4) &= \underline{4 / \text{h i driftstiden} = 16 \text{ m}^3/\text{hm}^2} \\ &= \underline{0,7 / \text{h utenom driftstiden} = 2,9 \text{ m}^3/\text{hm}^2}\end{aligned}$$

A.2.2 VENTILASJON BASERT PÅ MINSTEKRAV TIL FRISKLUFT

Anbefalinger for tilført friskluftmengde. Strengest av a og b (Bøhlerengen m.fl. 2004):

- 1,4 l/sekund m² grunnflate (vannflate + gulv i samme rom) = 311,1 l/sekund
- 2,8 l/sekund m² vannflate (vannflate + dusjareal) = 315 l/sekund

Nødvendig med 315 l/sekund = 1134 m³/time friskluft tilført.

Basert på praksisen med en differanse på 300 m³/time i tilluft og avtrekksluft for å oppnå tilstrekkelig undertrykksventilering, vil det være nødvendig med 834 m³ tilluft per time, og 1134 m³/time avtrekk.

Med svømmehallens areal på 222 m² vil dette tilsvare 3,75 m³/time m² tilluft, og 5,1 m³/time m² avtrekksluft, som går som inndata i beregningene i Simien.

A.3 DUSJER

A.3.1 OPPVARMING AV VANN TIL DUSJ

Antagelsene knyttet til dusjing er vist i Tabell 17. Effektbehov som inndata til beregningene i Simien er gitt nederst i tabellen som *Nødvendig tilført effekt* for de tre forskjellige utførelsene av varmegjenvinningen.

Tabell 17 – Antagelser og utregning knyttet til dusjing

Vannforbruk dusj	8	liter/min
dusjtid	6	min/dusj
antall dusjer	30	/time
Vannforbruk /time	1440	liter / time
Antal timer daglig drift	8	timer
Daglig vannforbruk	11520	liter / dag = kg/dag
Temperaturer på vannet		
Ønsket temperatur på vannet i dusjen	38	grader C
Friskvann, vann i ledningsnett som skal varmes opp	8	grader C
Må varme opp tilført vann	30	grader C
Elektrisk oppvarming av varmtvann		
Virkningsgrad elektrisk varmtvannsbereder	0,98	(98% av energien går med til å varme opp vannet, ihht NS3031 tab B.10)
Varmekapasitet vann	4200	kJ/kgK
Effektbehov	16800	W
Nødvendig netto effekt	17142,86	W
Areal dusj	50,88	m ²
Nødvendig netto effekt per m2	336,93	W/m ²
Nødvendig brutto effekt per m2	330,19	W/m ²
Ingen varmegjenvinner på gråvannet		
effekttall = Effektbehov / tilført effekt	1	
Nødvendig tilført effekt	336,93	W/m ²
Rekuperativ varmeveksler på gråvannet		
effekttall = Effektbehov / tilført effekt	3	
Nødvendig tilført effekt	110,06	W/m ²
Rekuperativ varmeveksler og varmepumpe		
effekttall = Effektbehov / tilført effekt	11,8	
Nødvendig tilført effekt	27,98	W/m ²

A.3.2 VENTILASJON AV DUSJER

Antagelsene og beregningen av nødvendig ventilasjonsbehov i dusjen er vist i Tabell 18. Kravet til antall dusjer er hentet fra Byggforsk Håndbok 52 (Bøhlerengen m.fl. 2004).

Tabell 18 - Ventilasjon av dusjareal

Ventilasjonsbehov dusjanlegg		
Ventilasjonsbehov per sekund og dusj (§ 8-34 tabell 3 i REN 2007)	15	l/s pr dusj
Antall dusjhoder	20	stk
Areal dusjer	50,88	m ²
Ventilasjonsbehov	21,23	m ³ /time m ²

A.4 NÅVERDIBEREGNING AV INNSPARING OG TILLEGGSINVESTERING

For å kontrollere lønnsomheten til de utbedrede løsningene er det benyttet nåverdiberegninger i regneark. Formelen som er benyttet for den tilbakeskrevne årlige besparelsen er (Sintef, NTNU 2007):

$$Nåverdi = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Årlig besparelse}}{(1 + \text{kalkulasjonsrente})^t} - I$$

Årlig besparelse: reduksjon i kWh multiplisert med en strømpris på 80 øre/kWh

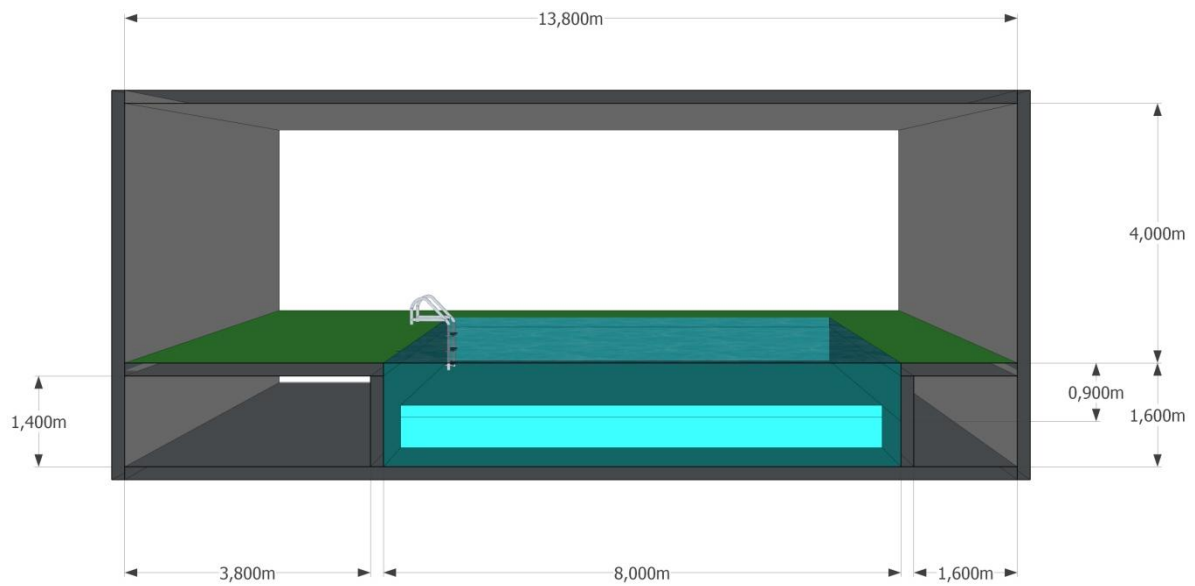
Kalkulasjonsrente: 7 % (statens rentesats)

N: antall år før tiltaket lønner seg, eventuelt hvor lønnsomt tiltaket er etter teknisk levetid på 20 – 30 år

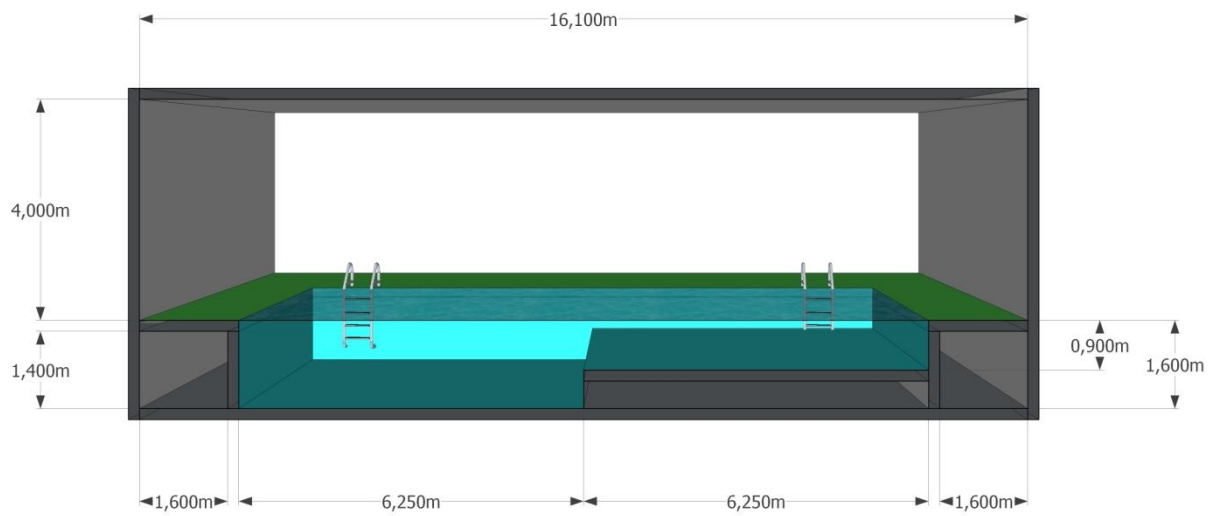
I: ekstra kostnad knyttet til investeringen

VEDLEGG

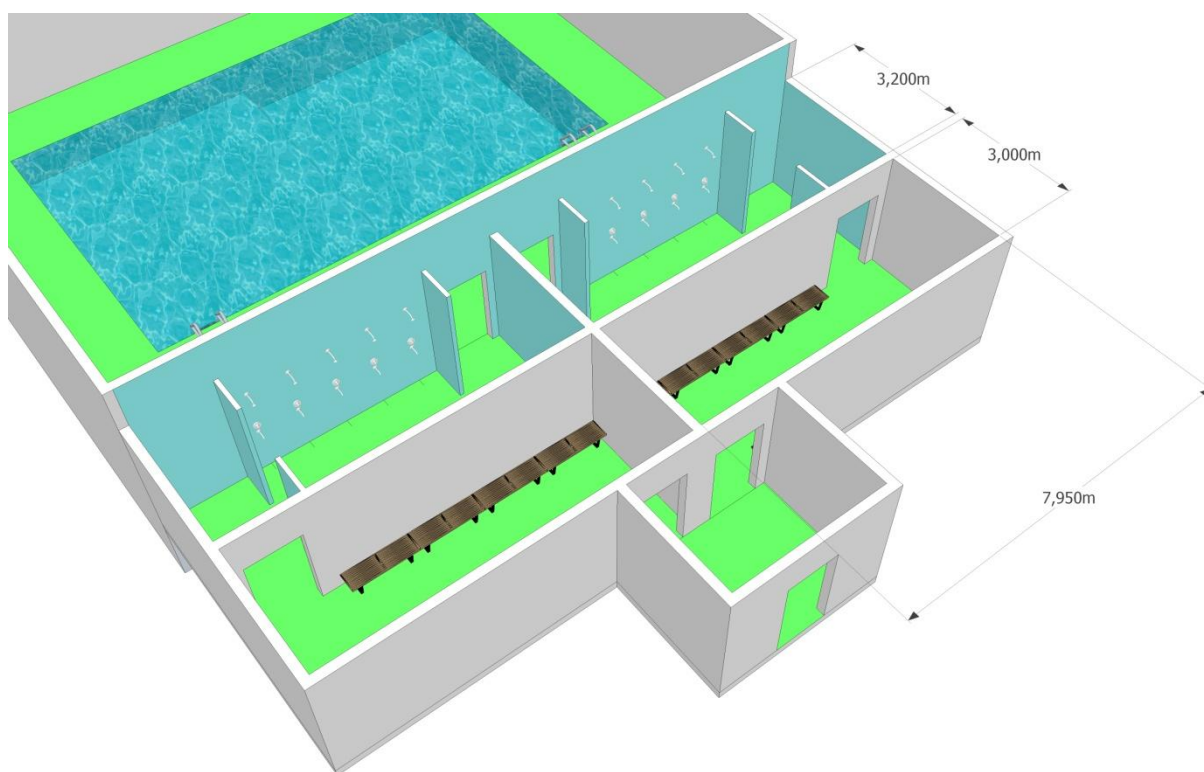
A. UTFORMING AV SVØMMEHALLEN



Figur 22 - Opplæringsbasseng snitt nord



Figur 23 - Opplæringsbasseng snitt øst



Figur 24 - Utvendige mål på dusj- og garderobeanlegget

B. OPPGAVETEKST

Oppgavetittel: Svømmehaller og krav til energieffektivitet

Bakgrunn:

Det bygges stadig nye svømmehaller i Norge. Svømmehaller er på mange måter spesielle bygg:

- 30 °C i svømmehallsrommet
- 50 – 60 % RH i innelufta
- Oppvarming med overtemperert luft som hovedsakelig tilføres som vindusbetrykning
- Konstante forhold døgnet rundt, året rundt. Ingen nattsinking, ingen stopp i ventilasjon.

Foruten at dette blir svært krevende mht. fuktsikkerheten ligger jo også alt til rette for et svært høyt energiforbruk. Det eneste som kanskje kan betraktes som positivt for svømmehaller med hensyn til energibruk er at bygningskroppen bygges svært tett slik at infiltrasjonen blir tilsvarende lav.

Fra 1. august gjelder energikravene i TEK-2007 for alle nye bygg. Imidlertid står det ikke noe om svømmehaller i TEK, verken i form av særskilte krav til varmeisolerende konstruksjoner eller i form av noe rammekrav. Så det mest nærliggende er da å bruke energiltaksmetoden. Energiltaksmetoden er i og for seg en konservativ tilnærming metode, men spørsmålet det kan være relevant å stille er om dette allikevel er strengt nok. Burde det vært egne særregler for svømmehaller?

Scope for en oppgave:

Beskrive svømmehaller som bygningstype og hvordan svømmehaller skiller seg fra kontorbygg, boliger og andre mer vanlige bygninger.

Innhente data for hvordan svømmehaller er blitt bygget de siste årene med fokus på å beskrive hvordan de har løst oppgaven med tanke på energibruk.

Innehente data fra svømmehaller som gir tall for det faktiske energiforbruket.

Vurdere behovet for særregler i TEK for svømmehaller.

Med bruk av NS 3031:2007 og beregningsprogram som VIP+ eller SIMIEN komme med et kvalifisert forslag til energiramme (kWh/m² BRA) for svømmehaller.