

Bruk av værprognoser for optimal styring av snøsmelteanlegg

Kristin Bøgeberg Jonsson

Master i energi og miljø

Innlevert: januar 2014

Hovedveileder: Rasmus Z Høseggen, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

Masteroppgave

for

Stud.techn. Kristin Bøgeberg Jonsson

Høsten 2013

Bruk av værprognoser for optimal styring av snøsmelteanlegg

Use of weather forecasts for optimal control of snow melting installations

Bakgrunn

Å styre klimatekniske installasjoner i bygg etter værforhold er vanlig. I dag brukes i stor grad temperaturfølere, fuktfølere, solanemometre, nedbørsfølere mv., som en input til å styre alt fra varmepådrag på radiatorer, turtemperatur på radiatorvann til styring av persiener og snøsmelting. Disse følerne gir informasjon om nå-tilstand, men gir ingen informasjon om framtidige behov.

Det er de siste årene utviklet nye beregningsmodeller som kombinert med nøyaktige radarmålinger gir en presisjon på værprognosene som hadde vært utenkelig for bare 4-5 år siden. Spesielt interessant knyttet til snøsmelteanlegg (gatevarmeanlegg) er nøyaktige prognoser for hvor og når neste snøfall kommer. Dersom det ikke er utsikter for nedbør kan det tillates at temperaturen i bakken synker og energi spares. Dersom det er sannsynlig for nedbør i nær framtid kan temperaturen heves for å være i "stand-by" om det skulle begynne å snø.

Mål

Målet med masteroppgaven er å undersøke hvordan presise værprognoser kan utnyttes for optimal styring av snøsmelteanlegg med hensyn på energi, effekt og økonomi. Effekttariffer på fjernvarme og strøm skal hensyntas i de økonomiske betraktningene.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Undersøke hvor mye energi snøsmelteanlegg bruker i dag. Datagrunnlaget hentes fra EOS som f.eks. Energinet og EOS-loggen.
2. Diskutere på hvilken måte presise værprognoser kan brukes for optimal styring av snøsmelteanlegg. Definere styringsparameterne.
3. Beregne/vurdere hvordan snøsmelteanlegg kan styres optimalt økonomisk. I denne vurderingen skal tariffer for fjernvarme og strøm hensyntas.

Belastningen på prosjektet utgjør 30 studiepoeng.

En fremdriftsplan (*Planlagte aktiviteter med tidsplan for fremdrift*) for hele oppgaven skal forelegges faglærer/veileder(e) for kommentarer innen 14 dager etter utlevering av oppgaveteksten.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med innholdsfortegnelse, et sammendrag på norsk, konklusjon, litteraturliste, etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesing av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, og at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Det forutsettes at kandidaten på eget initiativ etablerer et tilfredsstillende kontaktforhold med faglærer og eventuelle veileder(e).

Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

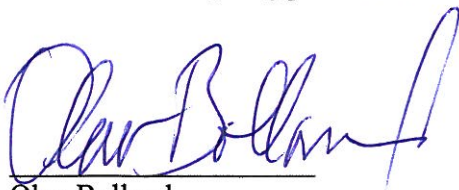
Besvarelsen leveres til instituttet innbundet i 3 komplette eksemplarer.

Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, instituttnavn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

Leveringsfrist: 26. januar 2014

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømnings teknisk, varmeteknisk)
 Feltarbeid

Institutt for energi- og prosesseteknikk, 2.september 2013.



Olav Bolland
Instituttleder



Rasmus Z. Høseggen
Faglærer/veileder

Forord

Denne prosjektoppgaven er utført ved Institutt for energi- og prosesseteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven er gjennomført høsten 2013.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min veileder Rasmus Z. Høseggen (Dr.H) for alle gode innspill og hjelp til oppgaven.

Spesielt vil jeg også takke Stein Undhjem for å ha delt sin vakre teser og mange erfaringer om snøsmelting. En stor takk rettes også til alle ansatte i Evotek, for å ha viet meg en kontor plass gjennom hele høsten og for at de stilte sin tid til disposisjon for spørsmål og diskusjoner.

Oslo, 25.01.2014

Kristin Bøgeberg Jonsson

Abstract

The main objectives of this thesis have been to evaluate the energy usage of snow melting systems, and how such systems can be operated optimally using weather forecasts. The thesis also assesses optimal operation of these systems from an economic point of view.

The energy usage of snow melting systems depends upon several factors, such as variation in installations, weather, location and management. For some snow melting systems about 70% of the energy consumption is related to standby operation, to maintain the ground temperature at a certain level in order to secure an early start of the melting process.

The control function can be optimized using parameters from the local weather forecast, enabling predictive control where the forecast parameters are used to control the standby function. By allowing standby operation only for high probabilities of near future snowfall, this control function will try to minimize unnecessary operation.

The weather forecast is imported automatically to a suitable automation server and the format of the weather forecast has to be compatible with the chosen communication method. In this thesis it is found that web services is a well suited method of communication.

From an economic point of view optimal operation of snow melting systems is about reducing both total energy usage and power peaks. This can be done by using weather forecasts as long as contributing factors are accounted for.

Sammendrag

Denne rapporten gir en oversikt over hvordan snøsmelteanlegg vanligvis styres i dag, hvordan energibruken varierer ut fra ulike faktorer og hvordan værprognoser kan benyttes til optimal styring av slike anlegg.

Dagens styring av snøsmelteanlegg baseres i stor grad på målte tilstander. Nyere snøsmelteanlegg har følere for utetemperatur, bakketemperatur og fuktighet, og ofte benyttes en standby-funksjon for å opprettholde en beredskapstemperatur i bakken. Formålet med standby er å være forberedt på et fremtidig snøfall, slik at smeltingen kan starte raskt og effektivt. Dette innebærer at snøsmelteanlegget bruker energi selv i kalde og tørre perioder uten behov for snøsmelting.

Energibruken til snøsmelteanlegg avhenger av installasjon og styring, variasjon i været, geografisk beliggenhet og anleggets energioppfølging. For snøsmelteanlegg med standby-funksjon, utgjør energibruken til standby-drift rundt 70% av totalt energibruk.

Ved å benytte parametere fra presise værprognoser, prognosestyring, kan snøsmelteanleggets styringsfunksjon optimaliseres slik at energibruken reduseres ned mot reelt energibehov til snøsmelting. Parametere fra værprognosen kan benyttes til start og stopp av standby-funksjonen, hvor standby kun tillates når det varsles om værphenomen som tilsier behov for snøsmelting.

Innhold

Forord	i
Abstract	ii
Sammendrag	iii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål og avgrensninger	2
1.3 Tilnærming og metode	2
1.4 Oppgaven	3
2 Styring av snøsmelteanlegg	4
2.1 Værforhold som kan tilsi behov for snøsmelting	4
2.1.1 Påriming og ising av bakken	4
2.1.2 Andre spesielle værphenomen	4
2.2 Styring og regulering av snøsmelteanlegg basert på målt tilstand . .	6
2.2.1 Manuell styring	6
2.2.2 Automatisk styring	7
2.2.3 Styringsfunksjoner	10
2.3 Diskusjon	11
3 Snøsmelteanleggets energiforbruk	12
3.1 Energi- og effektbehov	12
3.2 Energiforbruk - erfaringstall	12
3.3 Energiforbruk - basert på målte energidata	13
3.3.1 Forutsetninger	13
3.3.2 Energiforbruk	14
3.4 Energiforbruk og været som var	18
3.4.1 Antall snøfall - reelt og mulig feildetektert	18
3.4.2 Variasjon i vær og energiforbruk	19
3.5 Diskusjon	20
4 Meteorologiske data og værvarsling	22
4.1 Værprognosene	22
4.2 Værsymbol	24
4.3 Sannsynlighetsvarsler	24
4.4 Diskusjon	26
5 Prognosestyring av snøsmelteanlegg	27

5.1	Prinsipp	27
5.2	Styringsparametere	27
5.3	Praktisk anvendelse	29
5.3.1	Aktuelle værprognose-produkter	30
5.4	Funksjonsbeskrivelse	31
5.4.1	Mulige bryterinnstillinger for styringstavle	32
5.4.2	Flere standby-nivå og bruk av sannsynlighetskode	33
5.5	Tidsperspektiv på værprognosen	33
5.6	Oppstartstidspunkt	34
5.6.1	Adaptiv regulator	34
5.7	Oppdatering av parametere	35
5.8	Back up	35
5.9	Risiko / Implikasjoner	36
5.10	Rim- og issikring av kritiske områder	37
5.11	Effektbegrensning	37
5.12	Andre forhold	38
5.13	Diskusjon	38
6	Økonomi	39
6.1	Generelt om energikostnader	39
6.2	Energi-kostnader i tilknytning til snøsmelteanlegg	39
6.3	Kostnadsoverslag ved prognosestyring	40
6.4	Besparingspotensialet ved prognosestyring	42
6.5	Investeringskostnad ved prognosestyring	44
6.6	Diskusjon	44
7	Diskusjon	45
8	Konklusjon	47
9	Anbefalinger til videre arbeid	48
	Tillegg A Funksjonsbeskrivelse	
	– prognosestyring av snøsmelteanlegg med	
	væskefylte sløyfer	51
	Tillegg B Programmering og simulering av	
	prognosestyring	60
	Tillegg C Tariff fjernvarme - Hafslund	68
	Tillegg D Inndata beregningseksempel	69

Figurer

1	Døgnvariasjon av ulike temperaturer	5
2	Underkjølt regn, temperaturfordeling	6
3	Systemskisse snøsmelteanlegg, vannbåren varme	7
4	Følerplassering, overflateføler og bakkeføler	9
5	Spesifikt energiforbruk og geografisk lokasjon.	14
6	Snøfall og mulig snødeteksjon	18
7	Variasjon i vær og energiforbruk, Oslo.	19
8	Regional modell, værprognose	23
9	Værsymbol, yr.no	24
10	Sannsynlighetsvarsel	25
11	Kommunikasjonsstruktur, web services	30
12	Utklipp XML-fil, web services	31
13	Energikostnader ved kjøp av fjernvarme.	40
14	Anslåtte energikostnader ved prognosestyring og kjøp av fjernvarme.	41
15	Potensiell økonomisk besparelse ved prognosestyring	42

Tabeller

1	Energiforbruk - erfaringstall	12
2	Energiforbruk - energidata fra utvalgte snøsmelteanlegg	16
3	Ulike case, energi- og effekt	40
4	Anslått forbruk ved prognosestyring, energi og effekt	41
5	Inndata for økonomiske beregninger.	43
6	Potensiell besparelse med prognosestyring	43
7	Aktiverende settpunkt	58
8	Regulerende settpunkt	58
9	Aktiverende settpunkt A2	59
10	Regulerende settpunkt A2	59

1 Introduksjon

Å styre klimatekniske installasjoner i bygg etter værforhold er vanlig. I dag brukes i stor grad temperaturfølere, fuktfølere, solanemometre, nedbørsfølere og lignende, som input til å styre alt fra turtemperatur på radiatorvann, til styring av persienner og snøsmelting. Disse følerne gir informasjon om nå-tilstand, men gir ingen informasjon om framtidige behov.

Det er de siste årene utviklet nye beregningsmodeller som kombinert med nøyaktige radarmålinger gir en presisjon på værprognosene som hadde vært utenkelig for bare 4-5 år siden. Spesielt interessant knyttet til snøsmelteanlegg (gatevarmeanlegg) er nøyaktige prognoser for hvor og når neste snøfall kommer, slik at driften kan optimaliseres.

1.1 Bakgrunn

Tekniske krav og energimerkeordning har bidratt til økt fokus på bygningers energiforbruk, energioppfølging og energieffektivisering. Dette gjenspeiles i at nye og rehabiliterte bygg har et omfattende måleroppsett for styring og overvåking av byggets forbruksteder, hvor formålet blant annet er å avdekke unormalt store energiforbruk slik at energieffektiverende tiltak kan iverksettes.

Derimot stilles det ingen tilsvarende krav til bygningens snøsmelteanlegg, verken med tanke på styringsautomatikk eller energiforbruk. Snøsmelteanlegget inngår i en bygnings perifer system og tas ikke i betraktning når et bygg skal energimerkes, noe som kan være en av årsakene til at det ikke er tilsvarende fokus på denne installasjonen.

Dårlig styring av snøsmelteanlegget vil medføre et betraktelig større energiforbruk enn nødvendig. I forhold til de best styrte og mest energieffektive anleggene, antas dårlig styrte anlegg å bruke 4-5 ganger mer energi. Ved nyere anlegg skyldes store deler av energiforbruket opprettholdelse av beredskapstemperatur i bakken (standby-drift), for å være forberedt på et kommende snøfall. Siden dagens styringsfunksjoner ikke tar hensyn til om det faktisk kan forventes et snøfall, holdes bakken i beredskap unødvendig lenge.

Ved å benytte presise værprognoser til styring av snøsmelteanlegg kan driften optimaliseres siden tidspunktet for når bakken bør være i beredskap nå er kjent. Dersom det ikke er utsikter for nedbør kan det tillates at temperaturen i bakken synker og energi spares. Dersom det er stor sannsynlighet for nedbør i nær framtid kan temperaturen heves for å være i *standby* om det skulle begynne å snø.

1.2 Formål og avgrensninger

Formålet med masteroppgaven er å undersøke hvordan presise værprognoser kan utnyttes for optimal styring av snøsmelteanlegg med hensyn på energi, effekt og økonomi.

Avgrensninger

Rapporten omhandler kun større snøsmelteanlegg med varmerør eller -kabler nedlagt i grunn (fortau, ramper, trapper, o.l.). Dette innebærer at anlegg ment for tak og takrenner, samt mindre anlegg for privat husholdning ikke er nærmere omtalt. Grunnen til dette er at besparingspotensialet anses som størst for større gatevarmeanlegg.

Analyse av energiforbruket er kun utført for snøsmelteanlegg med egen energi- eller strømmåler med tilgjengelige målerdata i energioppfølgingssystemene EOS-loggen [1] eller Energinet [2]. Grunnen til dette er å sørge for at denne delen ikke blir for omfattende med tanke på disponibel tid på oppgaven, samt at det kreves godkjent bruker for å få tilgang til ønskede energidata. For å få best mulig datagrunnlag til videre bruk er det kun tatt utgangspunkt i de snøsmelteanleggene med energidata over en periode på ett år eller mer.

Styringsfunksjoner som ivaretar smeltebehovet ved de spesielle værphenomen beskrevet i avsnitt 2.1 på side 4 er kun beskrevet i grove trekk, da disse anses som relativt sjeldne i forhold til snøfall.

1.3 Tilnærming og metode

Rapporten er bearbeidet ut fra følgende punkter:

1. Undersøke hvor mye energi snøsmelteanlegg bruker i dag.
2. Diskutere på hvilken måte presise værprognoser kan brukes for optimal styring av snøsmelteanlegg og definere styringsparameterne.
3. Beregne/vurdere hvordan snøsmelteanlegg kan styres optimalt økonomisk. I denne vurderingen skal tariffer for fjernvarme og strøm hensyntas.

Datagrunnlaget er hentet fra energioppfølgingssystemene Energinet og EOS-loggen. Informasjon om de enkelte snøsmelteanleggene er presentert med utgangspunkt i dokumentasjon på forvaltningsportalen FDVweb [3] og samtaler med driftsansvarlige ved det aktuelle anlegget.

Videre er projektrapporten *Bruk av værprognoser for optimal styring av bygningers tekniske installasjoner* [4] og aktuelle produktblader benyttet som teoretisk grunnlag i deler av oppgaven.

1.4 Oppgaven

Første del av oppgaven gir en oversikt over hvordan det i dag er vanlig å styre snøsmelteanlegg. Videre presenteres det spesifikke energiforbruket til noen utvalgte snøsmelteanlegg, som senere i oppgaven blir presentert sammen med været for å se om det finnes noen sammenheng.

I andre del av oppgaven presenteres ulike typer værprognoser og hvordan disse blir til. Deretter blir det diskutert hvordan værprognosene kan benyttes til optimal styring av snøsmelteanlegg, her kalt prognosestyring.

Siste del av oppgaven omhandler økonomi. Her presenteres ulike ledd i energikostnadene, som senere blir benyttet i et beregningseksempel for snøsmelteanlegg med ulik energiforbrukskarakteristikk. Med utgangspunkt i dette eksempelet er besparingspotensialet ved prognosestyring beregnet.

2 Styring av snøsmelteanlegg

Snøsmelteanlegg benyttes i arealer som ønskes snø- og isfrie i vinterhalvåret, samt i arealer som ønskes tørre. Typiske bruksområder er fortau, gater, offentlige trapper, idrettsbaner og foran inngangspartiet til butikker.

Spesielt for trapper og nedkjøringsramper er det uheldig med påriming og ising da dette kan medføre farlige situasjoner. Dermed kan det være flere værforhold enn kun snøfall som bør hensyntas i den automatiske styringen av hvert enkelt anlegg.

2.1 Værforhold som kan tilsi behov for snøsmelting

I følgende delkapitler presenteres værforhold som kan tilsi behov for snøsmelting, hovedsakelig med utgangspunkt i Statens vegvesens rapport *Meteorologi og klimastasjoner* [5].

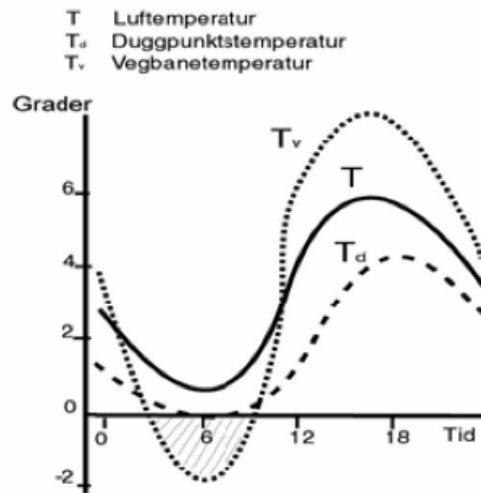
2.1.1 Påriming og ising av bakken

Det er bakkens overflatetemperatur som avgjør om det er mulig med avsetning av rim/is på bakken. Siden bakken har høyere varme- og kuldelagringskapasitet enn luft, vil bakketemperaturen "henge etter" i forhold til lufttemperaturen ved værromslag. Etter en lang klarværsperiode med kalde temperaturer kan bakken ofte ha en temperatur langt under 0°C . I dette tilfellet vil en passasje med mild og fuktig luft føre til at fuktighet i luften avsettes direkte på bakken som rim/is, da luften nærmest bakken avkjøles til duggpunktstemperatur. Slike tilfeller kan også inntreffe rett etter soloppgang og solnedgang ved klarvær, som vist i figur 1 på neste side, da bakken taper varme i form av langbølget utstråling.

Når overflatetemperaturen er lavere enn duggpunktstemperaturen vil det avsettes fuktighet på bakken. Når overflatetemperaturen samtidig er lavere enn 0°C vil fuktigheten fryse på bakken, forutsatt at bakken ikke er saltet. Det vil dermed være fare for glatte forhold når bakkens overflatetemperatur er lavere enn duggpunktstemperaturen og overflatetemperaturen samtidig er lavere enn frysepunktstemperaturen.

2.1.2 Andre spesielle værphenomen

Noen værphenomener kan gi spesielt problematiske forhold på bakken.



Figur 1: Døgnvariasjon av lufttemperatur, duggpunktstemperatur og vegbanetemperatur [5].

Regn som fryser på bakken

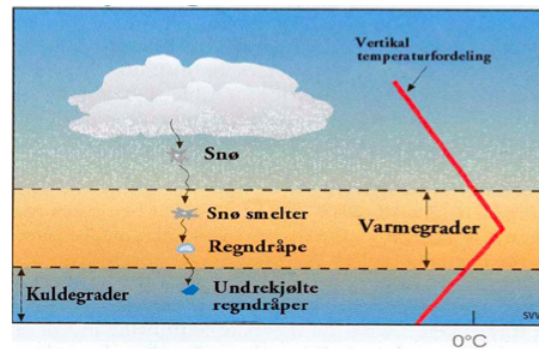
Etter en lang periode med klart og kaldt vær, vil bakkeoverflaten ha en temperatur langt under 0°C . Dersom det så kommer et nedbørsområde hvor nedbøren faller som regn, vil regndråpene fryse til is når de treffer bakken.

Underkjølt regn

Luften kan ha flere vertikalfordelte temperatursjikt, som vist i figur 2 på neste side. For eksempel kan luften rett over bakken ha en temperatur under 0°C , mens luften lenger opp i atmosfæren kan holde plussgrader. All nedbør som faller ut av det varme sjiktet og mot bakken vil være flytende i form av regn. Når regndråpene kommer i det kalde sjiktet, vil regndråpene underkjøles (dråpene har temperatur under 0°C , men er fortsatt flytende). Når underkjølte regndråper treffer bakken fryser de momentant og det dannes en glatt og hard isskorpe.

Tåke

Kort forklart er tåke skyer som ligger på bakken. Ved alle tilfeller av tåke kan fuktighet avsettes på bakken, da enten som vann hvis bakkens overflatetemperatur er over 0°C , eller som rim / is hvis overflatetemperaturen er under 0°C .



Figur 2: Temperaturfordeling som gir mulighet for underkjølt regn [5].

Snøfokk

Snøfokk oppstår når sterk vind virvler opp løse snøpartikler fra bakken. Vindstyrken avgjør hvor høyt opp i lufta snøen kommer, mens vindretning og objekter i området rundt (hus, trær o.l.) avgjør hvor snøen samler seg.

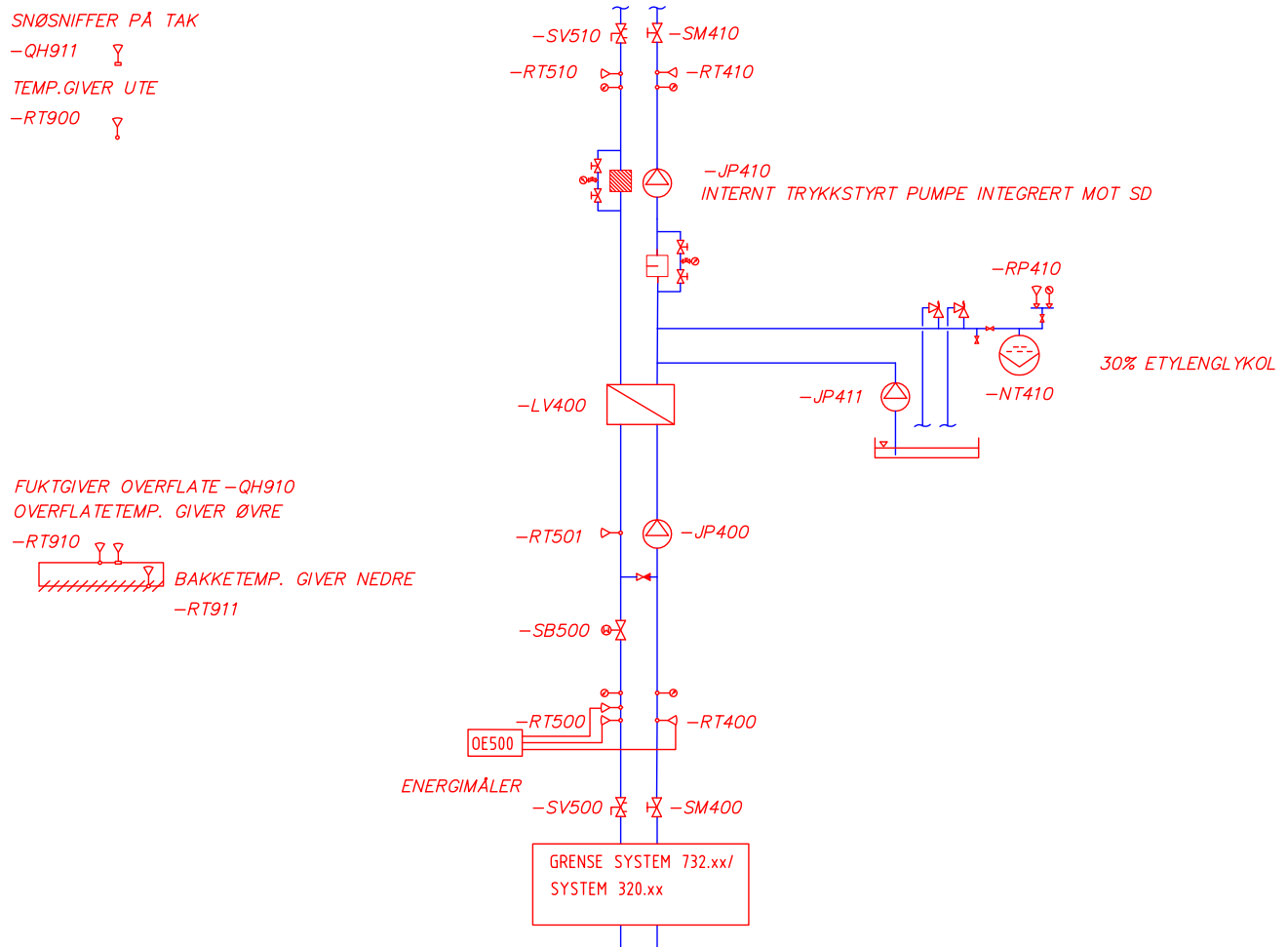
2.2 Styring og regulering av snøsmelteanlegg basert på målt tilstand

Snøsmelteanleggene kan være basert på elektrisitet eller vannbåren varme, og styres manuelt eller automatisk. Figur 3 på neste side viser et eksempel på en systemskisse for et snøsmelteanlegg med vannbåren varme. Dette snøsmelteanlegget kan styres automatisk ved hjelp av følere for temperatur og fuktighet, vist til venstre på skissen.

2.2.1 Manuell styring

Manuell styring innebærer at en person selv aktiverer og/eller deaktiverer snøsmelteanlegget. For noen snøsmelteanlegg innebærer aktivering at anlegget ligger inne med full effekt til det manuelt blir slått av igjen.

Snøsmelteanlegg med automatisk styring kan som regel overstyres manuelt. Ved nyere anlegg vil automatiske funksjoner sørge for at anlegget slås av igjen.



Figur 3: Systemskisse for et snøsmelteanlegg med vannbåren varme.

2.2.2 Automatisk styring

Automatisk styring innebærer at snøsmelteanlegget blir styrt med et minimum av menneskelig innblanding. Styringsautomatikken kan bestå av flere sensorer (følere) for måling av ulike parametere, som for eksempel utetemperatur og fuktighet. Verdien til de målte parametere avgjør om snøsmelteanlegget skal startes og eventuelt i hvilken funksjon (se avsnitt 2.2.3 på side 10). Antall følere og hvilke parametere som benyttes i styringen vil variere med kompleksiteten til styringsautomatikken.

Selvregulerende varmekabler

Noen elektriske snøsmelteanlegg styres og reguleres ved hjelp av selvregulerende varmekabler. De selvregulerende varmekablene er aktive når utetemperaturen eller bakketemperatur er under en gitt temperaturgrense, og justerer varmepådraget slik at settpunkttemperaturen (ønsket temperatur) for bakkeoverflaten opprettholdes. Temperaturgrensen er typisk mellom 3 og 5 plussgrader.

Temperatur- og fuktighetsføler

Snøsmelteanlegg med nyere styringsautomatikk er utrustet med følere for utetemperatur, bakketemperatur og fuktighet. I tilknytning til fuktighetsføleren sitter det et varmeelement som ligger inne med effekt så lenge utetemperaturen eller bakkens overflatetemperatur er under en gitt grense. Snø detekteres ved hjelp av varmeelementet ved at snø som treffer platen smelter og registreres som fuktighet av fuktighetsføleren.

Platen med varmeelement, temperatur- og fuktighetsføler kan være montert i bakken (som i en snøostat) eller den kan inngå i en værstasjon plassert på taket. Snøsmelteanlegget vil gå over i smeltefunksjon så snart fuktighet registreres og den målte temperaturen¹ er under begrensningstemperaturen definert i regulatoren. Smeltefunksjonen stoppes når fuktighetsføleren ikke lenger registrerer fuktighet eller bakkens overflatetemperatur overskrider en begrensningstemperatur definert i regulatoren.

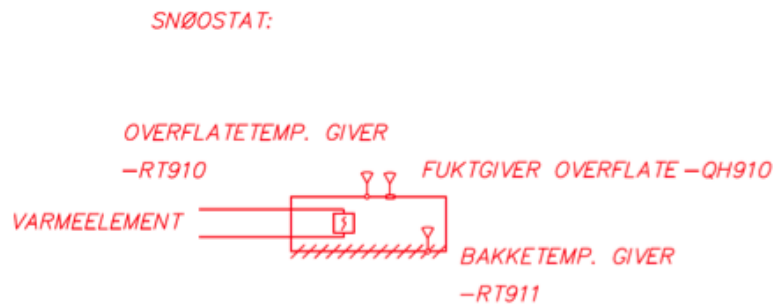
Det er også vanlig å ha en nedre temperaturgrense for bakkeoverflaten, for eksempel -10 °C, som sørger for at anlegget ikke kjøres når det er for kaldt for å smelte.

To målepunkt for bakketemperatur

Snøostaten kan ha to målepunkt for temperatur i bakken. Den ene føleren måler temperaturen i bakkeoverflaten, mens den andre måler temperaturen lenger ned i bakken, som vist i figur 4 på neste side. På denne måten kan bakkens minimumstemperatur styres i perioder uten nedbør.

Når nedre bakketemperatur blir lavere enn grenseverdien vil varmepådrag gis for å opprettholde en beredskapstemperatur i bakken. Når fuktighetsføleren registrerer fuktighet og overflatetemperaturen er mellom øvre og nedre grenseverdi, vil varmepådrag gis for å smelte snø, rim eller is på bakken (se avsnitt 2.2.3 på side 10).

¹Utetemperaturen eller bakkens overflatetemperatur



Figur 4: Snøostat med to målepunkt for bakketemperatur.

Rimføler

Noen snøsmelteanlegg har en rimføler for deteksjon av rim/is, som oftest er plassert høyere enn bakkenivå og som regel på vegg. Denne kan fungere på samme måte som en snøostat, der et varmeelement (mindre enn for snøostaten) sørger for at rim/is smelter og registreres av fuktighetsføleren. Dersom fukt detekteres og ute- eller overflatetemperaturen er under aktiverende setpunkttemperatur, vil varmepådrag gis for å øke bakketemperaturen slik at påriming unngås eller at allerede pårimet bakke blir rim-/isfri.

En annen måte å forhindre rim på er å benytte registreringer av luftfuktigheten sammen med bakkens overflatetemperatur. Logikk i snøsmelteanleggets undersentral finner duggpunktstemperaturen, og varmepådrag gis dersom det er fare for påriming [6].

Snøsniffer

En snøsniffer registrer fuktighet og raske temperaturendringer i uteluften som normalt er en indikasjon på nedbør. Snøsmelteanlegget vil aktiveres når snøsnifferen "lukter" snø. På denne måten skal snøsnifferen sørge for at snøsmelteanlegget kommer i gang før selve snøfallet kommer slik at responstiden reduseres [7].

Vindmåler

Det finnes også vindmålere for snøsmelteanlegg. Vindhastigheten vil påvirke relativ temperatur og ved for høye vindhastigheter kan det bli for kaldt til å smelte effektivt. Vindmåleren registrerer vindhastigheten slik at regulatoren kan beregne

om anlegget har nok kapasitet til å smelte effektivt. Snøsmelteanlegget vil kjøre for fullt først når dette er tilfelle, slik at unødvendige driftstimer utelukkes [8].

2.2.3 Styringsfunksjoner

Snøsmelteanlegg kan ha flere styringsfunksjoner med ulike aktiverende og regulerende settpunkt.

Smelting

Når snøsmelteanlegget går i smeltefunksjon, vil regulatoren gi varmepådrag slik at bakken oppvarmes tilstrekkelig til å smelte snø, rim eller is på bakken. Varmepådraget kan tilsvare fullt effektuttak eller det kan variere fra 0 – 100% av installert effekt, avhengig av hvilke tekniske komponenter som er tilknyttet snøsmelteanlegget.

Standby

Når snøsmelteanlegget går i *Standby* vil regulatoren gir varmepådrag for å opprettholde en forhåndsdefinert minimumstemperatur i bakken. Minimumstemperaturen kalles ofte beredskapstemperatur, og den regulerende settpunkttemperaturen er lavere enn tilsvarende settpunkttemperatur ved *Smelting*.

$$T_{SP,Standby} < T_{SP,Smelting}$$

Ved hjelp av standby-funksjonen vil bakken holde en gitt temperatur (som regel mellom -3 og -1°C) slik at oppkjøring til smeltetemperatur går raskere og smeltingen kan starte tidligere ved behov.

2.3 Diskusjon

Manuell styring kan innebære at snøsmelteanlegget ligger inne med effekt helt til anlegget manuelt blir slått av igjen. Forglemmelse kan føre til at snøsmelteanlegget blir et energisluk, da det ofte er installert stor effekt. Ved manuell styring bør det derfor være tilknyttet et varslings-/påminnelsessystem eller en *timer* som sørger for at ubevisst ”snøsmelting” ikke finner sted. Videre finnes det flere tilfeller hvor manuelt styrte snøsmelteanlegg startes ”i tilfelle det kommer et snøfall”.

Settpunkttemperaturen for når fuktighetsføleren (evt. snøostaten) skal være aktiv av stor betydning for energiforbruket. Dersom denne er for høy vil anlegget gå i smeltefunksjon når det ikke er snø, men regn, som detekteres av fuktighetsføleren. Da meteorologene varsler om snøfall dersom det forventes nedbør ved en utetemperatur under $0,5^{\circ}\text{C}$ [9], bør dette settpunktet ligge rundt 1°C , avhenging av snøsmelteanleggets formål.

Tilsvarende kan bruk av selvregulerende varmekabler medføre at snøsmelteanlegget er aktivt når det ikke er behov for smelting, da temperaturgrensen for når varmekablene er aktive typisk er mellom 3 og 5 plussgrader.

Siden dagens styring av snøsmelteanlegg stort sett er basert på målte tilstander, tas det ikke høyde for et værskifte før det allerede er inntruffet.² På grunn av systemets termiske treghet innebærer dette at man hele tiden vil henge etter, og store effektuttak kan være nødvendig for å smelte effektivt.

For å begrense denne tidsforsinkelsen, og de største effektuttakene, benyttes standby ved nyere snøsmelteanlegg. Men siden kjøring av standby kun er avhengig av temperatur, vil anlegget være i beredskap også i kalde og klare perioder som oftest er tørre og snøfrie. Dette innebærer at mye av energiforbruket til snøsmelteanlegg med standby-funksjon kan reduseres ved å begrense bruk av standby i perioder hvor det mest sannsynlig ikke vil være behov for snøsmelting.

²Unntaksvis gjelder styring med snøsniiffer som skal kunne indikere et kommende snøfall, men det er usikkert hvor utbredt denne styringstypen er.

3 Snøsmelteanleggets energiforbruk

Energiforbruket til snøsmelteanlegg avhenger av flere ulike faktorer, blant annet anleggets oppvarmingskarakteristikk, styringstype, geografisk beliggenhet og variasjoner i været. Per dags dato finnes det ingen offisielle tekniske krav eller normtall knyttet til snøsmelteanlegg og dets energiforbruk.

For å undersøke hvor mye energi et typisk snøsmelteanlegg bruker i året, er web-baserte energioppfølgingssystem og nettportaler for lagring av fdv-dokumenter benyttet for innhenting av aktuelle data.

3.1 Energi- og effektbehov

Maksimalt effektbehov oppstår når nedbørsintensiteten er størst og normalt når utetemperaturen ligger mellom 0 og $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Effektbehovet varierer fra 175 W/m^2 i områder med mildt klima og moderat nedbørsintensitet, til 350 W/m^2 i kaldere og mer nedbørsintensive områder [7].

For Oslo er det estimert et energibehov på 35 kWh/m^2 for å smelte årlig snømengde. I tillegg kommer omtrent 20 kWh/m^2 til oppvarming av bakke, fordampningsvarme, smelte av is i underlaget og til å heve snøtemperaturen til 0°C . Optimalt energiforbruk for snøsmelteanlegg i Oslo er dermed estimert til 55 kWh/m^2 [10].

3.2 Energiforbruk - erfaringstall

Tabell 1 viser typisk forbruk etter noen utvalgte styringsprinsipper for gatevarme.

Styringstype	Energiforbruk (kWh/m^2)
Manuell (4380 driftstimer)	1095
Lufttermostat (2880 driftstimer)	800
Bakketermostat ($+4^{\circ}\text{C}$)	680
Nedbørsstyring og bruk av Standby (beredskapstemp. 0°C)	450
Nedbørsstyring og bruk av Standby (beredskapstemp. -2°C)	165
Radiostyrt gatevarme	150

Tabell 1: Erfaringstall på energiforbruk ved ulike styringsprinsipper [10].

Manuell styring og styring ved bruk termostat (som for eksempel med selvregulerende varmekabler) vil som regel ha det høyeste energiforbruket, erfaringsmessig

mellom 800 og 1100 kWh/m^2 .

Energiforbruket for anlegg med nedbørsstyring (bruk av fuktighetsføler) og standby-funksjon ligger rundt 165-450 kWh/m^2 , avhengig av settpunkt. Dette innebærer at rundt 80 % av energiforbruket antas å gå med til å opprettholde en beredskaps-temperatur i bakken i kalde og tørre perioder.

Radiostyrt gatevarme er en tjeneste som tidligere ble tilbudt av aktuell leverandør, hvor snøsmelteanlegget ble fjernstyrt via radiosignaler. Signaloverføringen til de radiostyrte bryterne skjedde over GSM-nettet. Fjernstyringen ble gjort på to måter:

- *Manuelt*: Leverandøren overvåket snøsmelteanlegget kontinuerlig og startet anlegget ut fra værprognoser.
- *Automatisk*: En sensor koblet opp mot en nærliggende værstasjon sørget for start av anlegget ved behov.

Ved varsel om snø ble snøsmelteanlegget startet et gitt antall timer før nedbøren var ventet, avhengig av det varslede temperaturforløp. Selv om tjenesten ga store energibesparelser, med et spesifikt forbruk ned mot 60 kWh/m^2 for enkelte anlegg, ble tjenesten lagt ned grunnet ulike forhold.³

3.3 Energiforbruk - basert på målte energidata

Dette delkapitlet gir en oversikt over installert styringsautomatikk og spesifikt energiforbruk til noen utvalgte snøsmelteanlegg, hvor informasjonen er basert på web-baserte energioppfølgingssystem, nettportaler for lagring av fdv-dokumenter og samtaler med driftsansvarlige.

3.3.1 Forutsetninger

De undersøkte snøsmelteanleggene er anlegg med egen strøm- eller energimåler og hvor målt forbruk registreres i EOS-loggen eller Energinet.

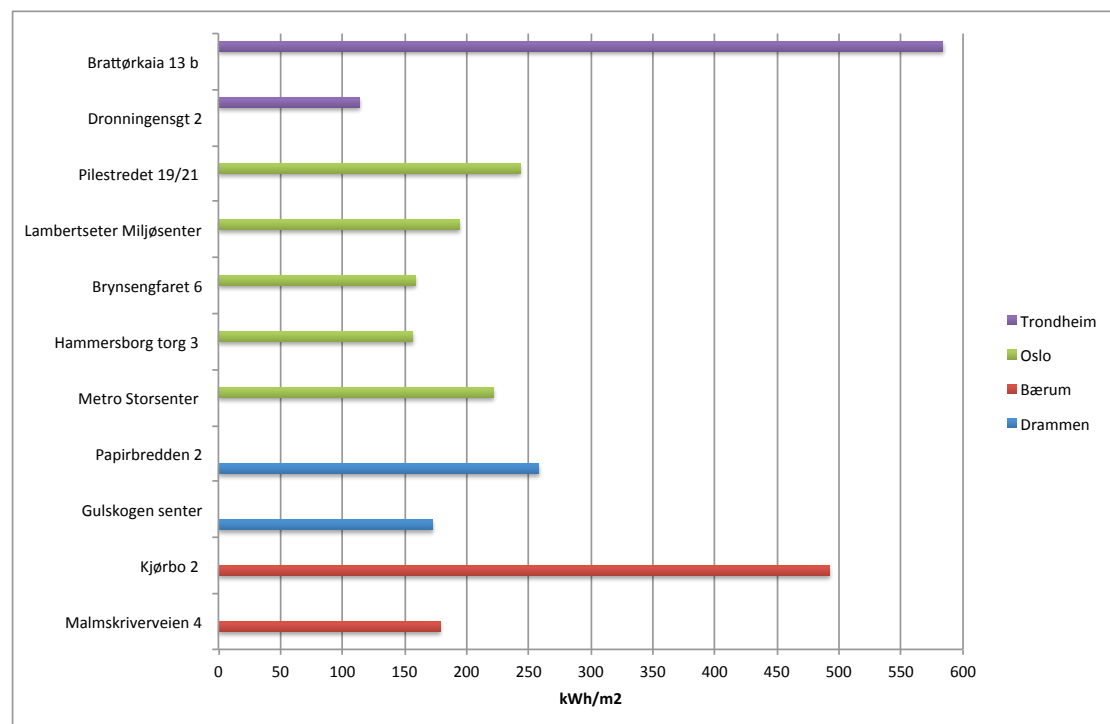
Ved noen tilfeller har det vært vanskelig å angi arealet til snøsmelteanlegget på grunn av manglende dokumentasjon. I disse tilfellene er beregningene utført på bakgrunn av anslått areal av driftsansvarlige. Det er dermed noe usikkerhet tilknyttet det spesifikke energiforbruket til enkelte av snøsmelteanleggene.

³Blant annet at GSM-nettet var upålitelig, noe som ga leverandøren store vedlikeholdskostnader.

Energiforbruket er ikke korrigert med tanke på temperatur og nedbørsmengder for et normalår, da det ikke finnes normtall for dette. Dette innebærer at variasjon i været og geografisk beliggenhet må hensyntas ved sammenlikning mellom ulike snøsmelteanlegg.

3.3.2 Energiforbruk

Figur 5 gir en oversikt over geografisk beliggenhet og spesifikt energiforbruk til de undersøkte anleggene. En mer detaljert oversikt over anleggene vises i tabell 2 på side 16. Omtrent halvparten av de undersøkte snøsmelteanleggene har et spesifikt energiforbruk over 200 kWh/m^2 . Dette er nesten det dobbelte av forbruket til anlegget ved Dronningensgate 2, hvor energieffektiviserende tiltak nylig har blitt gjennomført.



Figur 5: Spesifikt energiforbruk og geografisk lokasjon.

Anlegg med tilnærmet lik geografisk beliggenhet vil i utgangspunktet ha et tilnærmet likt energibehov på grunn av samme klima. Dette gjenspeiles delvis i energiforbruket til anleggene i Oslo og Drammen. Derimot er det store variasjoner i energiforbruket for anleggene i Trondheim og Bærum.

Flere av snøsmelteanleggene har blitt styrt manuelt grunnet problemer med styringsautomatikken, noe som gjør en direkte sammenlikning mellom spesifikt energiforbruk og styringstype vanskelig (se avsnitt 3.2 på side 12 for erfaringstall).

Stort sett ligger de høyeste effektuttakene til de undersøkte anleggene mellom 200 og 350 W/m^2 . Unntaksvis gjelder snøsmelteanlegget ved Pilestredet 19/21 som har høyeste registrerte effektuttak på over 700 W/m^2 . Effektuttaket opptrer når utetemperaturen er -11°C , noe som tyder på at effekttoppen skyldes stor temperaturforskjell mellom vann/glykol-blandingen og turvannet på primærsiden av varmeveksleren ved igangsettelse av anlegget.

Snøsmelteanlegget ved Lambertseter Miljøsentor får tilført overskuddsvarme fra kjøleanlegget i senteret, slik at bakken oppvarmes uten at det påføres ekstra energikostnader. Energimåleren er plassert på fjernvarmekursen, og energien som måles (og som er presentert i tabellen) er resterende energibehov etter at eventuell overskuddsvarme er tilført. Energiforbruket er likevel i samme størrelsesorden som de andre snøsmelteanleggene, noe som blant annet kan skyldes at behovet for kjøling og snøsmelting er i motfase, samt at anlegget overstyres manuelt på grunn av problemer med tilising på enkelte områder.

Anlegg	Areal [m ²]	Energiforbruk [kWh/m ²]	Maks. effekt [W/m ²]	Styring	Generelt
Brattørkaia 13 b	40	584	235	SMC -2	Trondheim. Usikkerhet knyttet til arealet pga. manglende dokumentasjon og oppmåling.
Kjørbo 2	168	493	300	Devireg 850	Bærum. Snøsmelteanlegget ved Kjørbo er i realiteten større, bestående av flere kurser og flere målere. Kun en av målerne har registreringer i EOS-loggen for et helt år. Spes. energiforbruk gjelder derfor kun for vareinngangen ved blokk 9-10 ved Kjørbo 2. Målerdata mangler fra mars 2012.
Papirbredden 2	827	258 ^a	328	Aiwell 3000	Drammen. Spes. energiforbruk er beregnet med utgangspunkt i målt forbruk fra 1.juli 2012 til 1.juli 2013. Snøsmelteanlegget har hovedsakelig blitt styrt manuelt grunnet problemer med styringsautomatikken.
Pilestredet 19/21	600 ^b	243	708	Isfri 60	Oslo. Høyeste målte effektuttak opptrer 11.12.2012, ved utetemperatur -11°C.
Metro Storsenter	2000	222	380	Aiwell -	Oslo. Problemer med styringsautomatikken.

Tabell 2: Energiforbruk ved ulike snøsmelteanlegg

^aBeregnet med utgangspunkt i energiforbruket fra juli 2012 til juli 2013.^bAreal estimert ved oppmåling.

Anlegg	Areal [m^2]	Energiforbruk [kWh/m^2]	Maks. effekt [W/m^2]	Styring	Generelt
Lambertseter Miljøseter	1250	194	443	Snøostat 222	Oslo. Anlegget overstyres manuelt for å holde ramper til parkering isfrie.
Malmskrivervn. 4	175	179 ^a	-	-	Bærum. Spes. energiforbruk er beregnet med utgangspunkt i manuelt avleste målerverdier.
Gulskogen senter	360	173	194	Devireg 850	Drammen. Driftsansvarlig har fra jan/feb 2013 unnlatt å bruke snøsmelteanlegget for å redusere energiforbruket. Snømåking og strøying har fungert tilfredsstillende, men ved isproblemer vil anlegget kjøres.
Brynsengfare 6	900	159	227	Isfri 50	Oslo. Anlegget har 2 stk. energimålere, men kursinndelingen er ukjent. Ut fra energiforbruket registrert på hver av målerne, er antas målerne å dekke hhv. $600m/2$ og $300m/2$. Målt maks.effekt gjelder for energimåleren med størst dekningsområde og høyest effektuttak.
Hammersborg torg 3	400 ^b	156	283	Aiwell 2000	Oslo. Driftsansvarlig har justert aktiverende og regulerende sett-punkter for å minimalisere energiforbruket.
Dronningensgt 2	176	114	170	Snøostat 222	Trondheim. Gjennomføring av energieffektiviserende tiltak i 2009 har bidratt til en halvering av energiforbruket de siste 3 årene.
Lillestrøm Torv	2000 ^b	53	80	-	Lillestrøm. Problemer med styringsautomatikken. Spes. energiforbruk i 2008 var 270 kWh/m ² .

Tabell 2 forts..

^aBeregnet med utgangspunkt i energiforbruket fra juli 2012 til juli 2013.

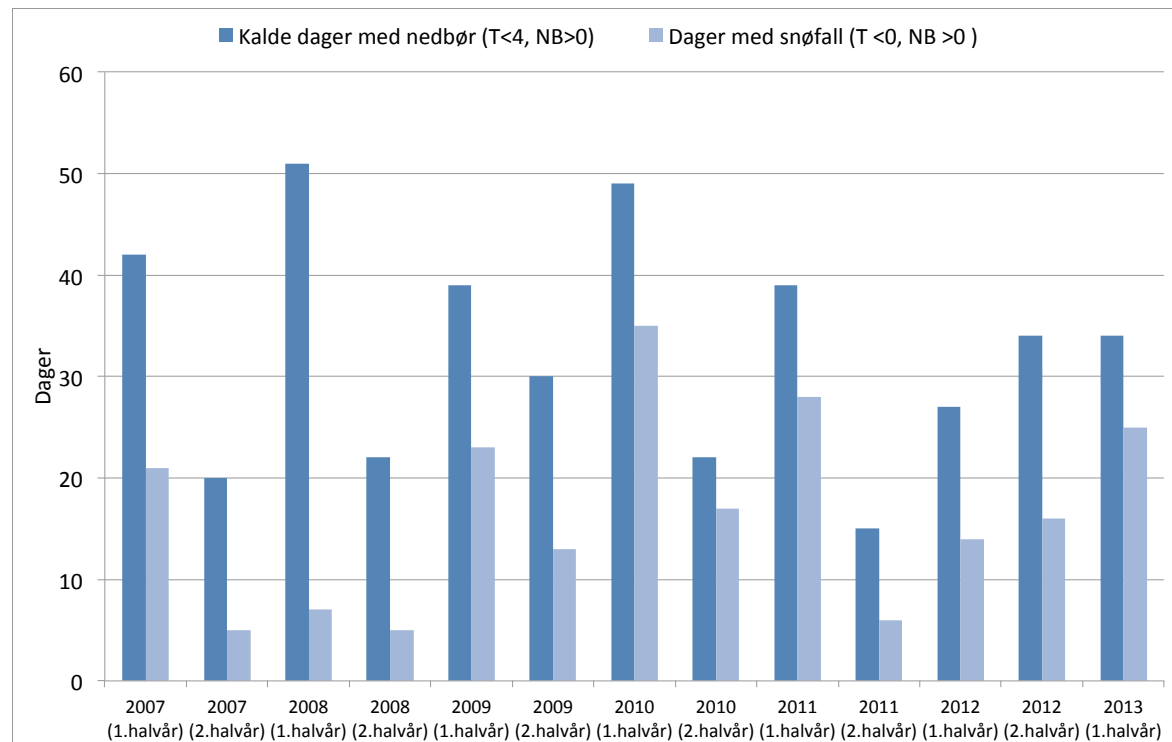
^bAreal estimert ved oppmåling.

3.4 Energiforbruk og været som var

Siden energibehovet til snøsmelting varierer med været, er det undersøkt om dette kan gjenspeiles i energiforbruket. Værdane er hentet fra Meteorologisk institutt [11].

3.4.1 Antall snøfall - reelt og mulig feildetektert

Noen snøsmelteanlegg har styring som innebærer at snøsmelteanlegget går i smeltefunksjon dersom fuktighetsføleren registrerer fukt og utetemperatur er under 4°C . Dette innebærer at snøsmelteanlegget vil kjøres i smeltefunksjon selv om det er regn som detekteres, og det ikke er behov for snøsmelting. Figur 6 viser antall dager med snøfall⁴ i Oslo og antall dager med nedbør hvor gjennomsnittlig utetemperatur har vært under 4°C .



Figur 6: Kalde dager med nedbør og dager med "reelt" snøfall, Oslo.

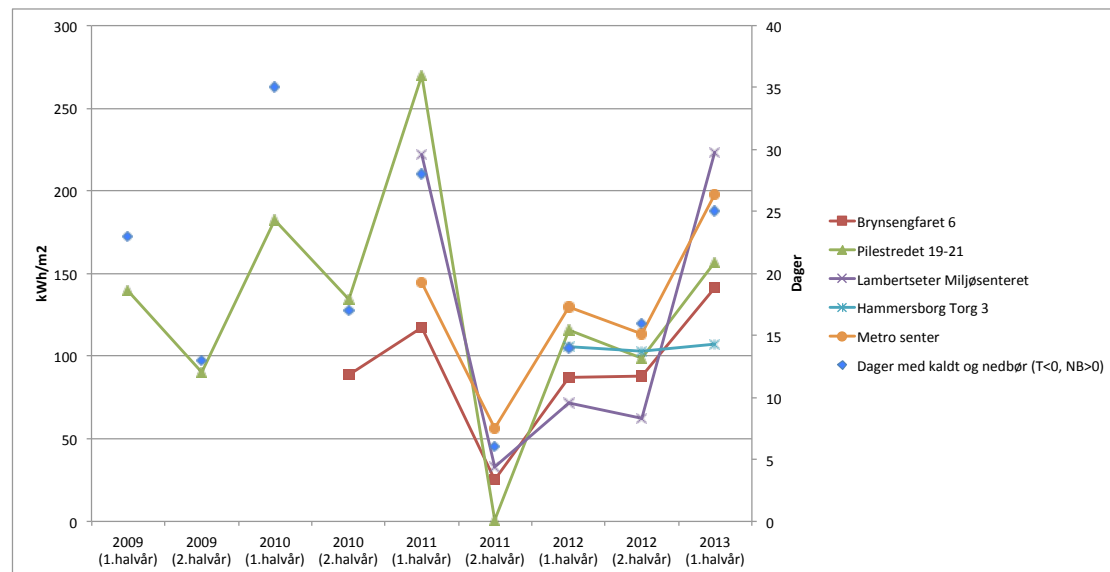
Værdane indikerer at det i løpet av de siste 6 årene har vært omtrent like mange dager med mulighet for falsk snødeteksjon som antall dager med snøfall.

⁴Her definert ved midlere daglig utetemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$ og nedbør $> 0 \text{ mm}$.

Snøsmelteanlegg med denne type styring kan dermed ha gått i smeltefunksjon nærmere dobbelt så ofte enn nødvendig.⁵

3.4.2 Variasjon i vær og energiforbruk

Figur 7 viser spesifikt energiforbruk plottet mot antall dager hvor gjennomsnittlig utetemperatur har vært under 0°C og nedbør har blitt registrert. Det er trukket linjer mellom punktene for det spesifikke forbruket for å gi et tydeligere bilde i figuren. Punktene viser gjennomsnittlig spesifikt forbruk per halvår.



Figur 7: Variasjon i vær og energiforbruk, Oslo.

Av figuren kan man se en tydelig sammenheng mellom vær og energiforbruk, der energiforbruket øker med antall kalde dager med nedbør. Avvik kan skyldes begrensninger i figuren, da verken nedbørsmengde eller utetemperatur fremkommer. Figuren fanger heller ikke opp forhold som påriming eller ising av bakken.

Det historiske energiforbruket ved Hammersborg torg 3 følger ikke været på lik måte som de andre snøsmelteanleggene, men har et tilnærmet likt energiforbruk de tre siste periodene. Dette kan skyldes at driftsleder, ved ukjent tidspunkt, har endret både aktiverende og regulerende settpunkt for å optimalisere driften.

Store variasjoner i energiforbruket ved snøsmelteanlegget til Lambertseter Miljøsentret kan skyldes at energibehovet avhenger av tilgjengelig overskuddsvarme fra

⁵Dersom en ser bort fra aktivisering av snøsmelteanlegg som følge av andre forhold, som påriming, opptøring av bakke, osv.

kjøleanlegget. Eksempelvis kan høyt energiforbruk i første halvår av 2013 gjen- speile et lite kjølebehov i samme periode.

3.5 Diskusjon

En bør være oppmerksom på at snøsmelteanleggene som er presentert i denne rap- porten er anlegg som har et eget målepunkt oppført i et energioppfølgingsystem. Dette betyr at det er tiltenkt energioppfølging på snøsmelteanleggene, men det er ikke entydig med at dette faktisk gjøres. Likevel kan det antas at de presenterte snøsmelteanleggene er blant dem med lavest spesifikt energiforbruk.

Etter å ha vært i kontakt med driftsansvarlige ved flere ulike anlegg, også utover de presenterte anleggene, er generell oppfatning snøsmelteanleggets energioppfølging ikke er i fokus. Ved flere tilfeller mangler dokumentasjon/kunnskap om snøsmelte- anlegget, både med tanke på anleggets dekningsområde, hva som er installert av styringsautomatikk og hvordan det aktuelle snøsmelteanlegget kan driftes opti- malt.

Videre finnes det mange snøsmelteanlegg som ikke har en egen strøm-/energimåler eller hvor energiforbruket til snøsmelteanlegget ikke kan beregnes, noe som gjør energioppfølging vanskelig. På grunn av stor variasjon i spesifikt energiforbruk og siden det ofte er installert stor effekt, er det mye som tyder på at disse snøsmelte- anleggene har et betraktelig større energiforbruk enn de som er presentert i denne rapporten.

Snøsmelteanlegg bør, på lik linje med andre tekniske installasjoner i bygningen, ut- rustes med egen strøm-/energimåler for å tilrettelegge for energioppfølging. Videre bør driftsansvarlige informeres om hva som er "normalt" energiforbruk for snø- smelteanlegg ved den aktuelle beliggenheten og hvordan de kan drifte sitt anlegg optimalt.

Energiforbruket til de presenterte snøsmelteanleggene varierer med antall snød- ager, og dermed tilsynelatende etter behov. Variasjoner i spesifikt energiforbruk kan skyldes annet enn kvaliteten på styringen, blant annet variasjon i snøsmelte- anleggets bruksområde eller hvor værutsatt dekningsområdet er. Snøsmelteanlegg som benyttes til andre formål utover snøsmelting (for eksempel til å holde arealer tørre) eller har dekningsområder hvor det ofte samles opp snøføyk, vil dermed ha et større energibehov enn anlegg som kun benyttes til snø- og issmelting eller som ligger på mer skjermede områder. Store variasjoner i spesifikt energiforbruk for anlegg med tilnærmet lik lokasjon og formål tyder likevel på at det foreligger et besparingspotensiale for flere av anleggene gjennom å forbedre styringen.

Dersom kunnskap om morgendagens vær benyttes til styring av snøsmelteanlegg, forventes sammenhengen mellom variasjon i energiforbruk og vær å være større. Tidligere erfaringer ved å bruke værprognoser i styringen ga store energibesparelser, men kommunikasjonsmetoden mellom tjenesteleverandør/værstasjon og styringsenheten til snøsmelteanlegget fungerte ikke tilfredsstillende. En ny metode for hvordan værprognoser kan benyttes til automatisk styring av snøsmelteanlegg bør derfor utarbeides. Videre antas presisjonen på dagens værprognoser å være betraktelig bedre enn for bare 4-5 år siden, noe som gjør værprognosene enda bedre egnet til styring av tekniske anlegg.

4 Meteorologiske data og værvarsling

I dag benyttes numerisk værvarsling for å varsle været. Numerisk værvarsling er en metode som, ved hjelp av en matematisk modell, bruker de nyeste værobservasjonene til å beregne hvordan været vil bli i fremtiden. Beregningene utføres i et tredimensjonalt gitter over jordoverflaten, og oppløsningen på værprognosen bestemmes av avstanden mellom gitterpunktene.

Siden meteorologien er avhengig av observasjoner fra et stort område og av stor regnekraft for å utføre de kompliserte beregningene, har utviklingen i værvarsling, kommunikasjonsteknologi og informasjonsteknologi fulgt hverandre tett. Dette har ført til at dagens værprognoser har en presisjon som var utenkelig for bare noen få år siden.

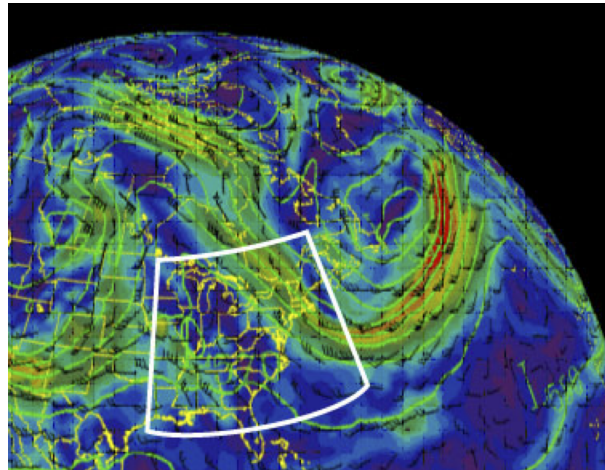
I det følgende presenteres ulike værprognoser med utgangspunkt i informasjon fra meteorolog Niklas Sondell [12] og yr.no [13].

4.1 Værprognosene

En værprognose starter alltid med en global modell for å fange opp alt som skjer i atmosfæren. De største aktørene for dette er NCEP (National Center for Environmental Prediction) og ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasts), lokalisert i henholdsvis USA og England. Værdata fra ECMWF koster penger og benyttes av meteorologiske institutter og større private aktører. ECMWF dataene finnes globalt med 16 km oppløsning. Værdata fra NCEP er tilgjengelig og gratis og benyttes av mindre private aktører i Europa. NCEP dataene har omtrent 50 km oppløsning. Disse aktørene lager værvarsel for 15 dager fremover, to til fire ganger i døgnet.

Å lage en god værprognose dreier seg i stor grad om å finne best mulig initialtilstand i atmosfæren. De to ovenfornevnte aktørene lager en deterministisk modell med full oppløsning, og det som kalles Ensemble modeller med noe lavere oppløsning. Ensemble modellene kjøres med perturbasjoner i analysen, det vil si hvordan tilstanden i et punkt påvirkes av endringer i tilstanden til punktene rundt. Med denne metoden kan en se om disse små perturbasjonene gir en forandret værprognose, og sannsynligheten og sensitiviteten i modellen kan beregnes.

Instituttene kjører så regionale modeller (se figur 8 på neste side) basert på ECMWF data, mens noen private kjører modeller basert på NCEP data. Det finnes flere ulike modeller med varierende oppløsning. UM (United Model) og WRF (Weather



Figur 8: Eksempel på et regionalt modellområde i et global gitter [14].

Research and Forecast Model) er eksempler på modeller som egner seg ned til 1 km oppløsning.

Poor Man's Ensemble

Metoden kalt *Poor Man's Ensemble* går ut på å samle flere forskjellige regionale modeller, både siste analyse og tidligere analyser, og vekte dem ulikt sammen til en sannsynlighet. For høyoppløslige modeller, for eksempel på 1 km, kan det være nødvendig å bruke romlig sannsynlighet, spesielt for å fange opp nedbør. Disse modellene fanger opp bygeaktivitet og ekstremverdier veldig godt, men byen kan komme på 2-3 km avveie i modellen i forhold til virkeligheten.

Tidsoppløsning

Tidsoppløsningen på ECMWF og NCEP dataene er 3 timer og går opp til 144 timer fram i tid. De regionale modellene har vanligvis timesoppløsning og brukes oftest ikke til lenger enn til 72 timer fram i tid. Da værvarslene oftest er riktige, men noe feil i tid, midles dataene over noen timer. Det er mulig å bruke høyttoppløselige modeller lenger fram i tid, men de fine detaljene vil gi større feil dersom varselet er feil.

Nowcasting varsler

For mer lokale værprognoser brukes en lokal nedbørradar til å lage Nowcasting varsler. Da kombineres observert nedbør i radaren og prognosert nedbør i modellen som videre advekteres⁶ med vindstrømmen, slik at resultatet blir en prognose for nær framtid, fra 0-6 timer. Denne type værprognose er mer nøyaktig på tid og rom, særlig for bygenedbør.

4.2 Værsymbol



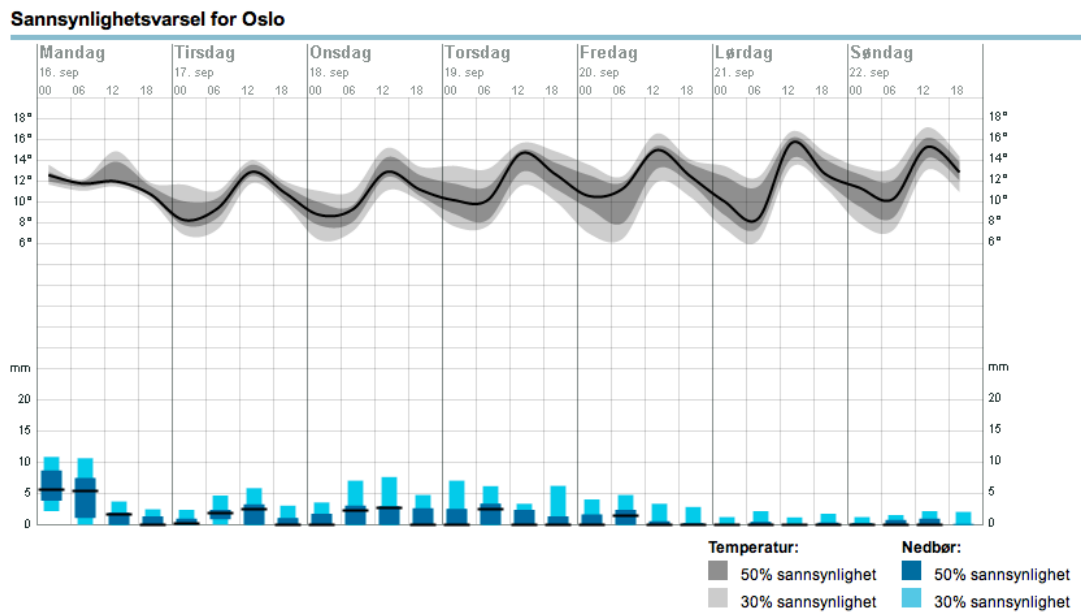
Figur 9: Eksempel på værsymbol og ID-nummer fra yr.no [15].

Værsymbolet i en prognose er en samling av flere parametere (som for eksempel skydekke, temperatur og nedbør) i et symbol og viser værtypen som kan forventes. Meteorologisk institutt opererer med totalt 23 ulike værsymboler, med ID-nummer 1 - 23. Figur 9 viser et eksempel på et værsymbol. Værsymbolene som innebærer et snøfall har ID-nummer 8, 13, 14, 19 og 21, mens værsymbolene som innebærer sludd har ID-nummer 7, 12, 20 og 23. Sludd varsles dersom det forventes nedbør med en utetemperatur mellom 0,5 og 1,5°C [9].

4.3 Sannsynlighetsvarsler

Sannsynlighetsvarselet viser usikkerheten i dagens værvarsel og tar hensyn til at man ikke har eksakt kunnskap om den aktuelle vær-situasjonen. Tilsvarende tas det hensyn til at enkelte prosesser i værvarslingsmetodene kun er omtrentlig kjent. For å beregne konsekvensene av dette lages 51 alternative værvarsler for samme tidspunkt alle steder på jorda, som videre benyttes til å beregne den mest forutsigbare utviklingen og dens usikkerhet. Ut fra dette beregnes sannsynligheter for værhendelser og ulike utviklinger. Figur 10 på neste side viser et eksempel på presentasjon av sannsynlighetsvarselet. For å teste påliteligheten til sannsynlighetsvarselet verifiseres varslede sannsynligheter mot observerte værdata.

⁶”Transporteres”



Figur 10: Eksempel på sannsynlighetsvarsel fra yr.no [16].

Sikkerheten til varslet værsymbol beregnes ut fra hvor mange av de 51 varslene som kan tilknyttes det valgte værsymbolet. Blant de varslene som knyttes til det varslede værsymbolet velger man det som har den midterste temperaturverdien (medianen). Værsymbolet vil varsle snø hvis temperaturen viser minusgrader og symbolet omfatter nedbør. Vindstyrken velges på tilsvarende måte.

Sikkerheten i temperatur- og vindvarselet beregnes ut fra antallet alternative varslere som treffer samme temperatur og vindstyrke som langtidsvarselet, og anses å treffe ut fra følgende kriterier:

- *Værsymbol:* Dersom det varsles samme eller tilgrensende værsymbol som i langtidsvarselet.
- *Temperatur:* Dersom det varsles innenfor $\pm 1,5$ grader for temperaturer over -10 grader og $\pm 2,5$ grader for temperaturer under -10 grader i forhold til langtidsvarselet.
- *Vindstyrke:* Dersom det varsles innenfor ± 2 m/s for vindstyrke under 12 m/s og ± 3 m/s for vindstyrke over 12 m/s i forhold til langtidsvarselet.

4.4 Diskusjon

For å benytte værprognoser til automatisk styring av snøsmelteanlegg må formatet være av en type som er kompatibel med styringsenheten (eksempelvis undersentralen). Videre må værprognosen inneholde de ønskede parameterne som skal benyttes i styringen og gjelde for området hvor snøsmelteanlegget er lokalisert. Værprognoser gis for de fleste steder i Norge⁷, og dersom en ønsker værprognoser for steder utover dette, kan tilgang til Sentralt stedsnavnsregister kjøpes.

⁷På yr.no kan en hente værprognoser for 11 000 byer og tettsteder i Norge

5 Prognosestyring av snøsmelteanlegg

Bruk av værprognoser til styring av snøsmelteanlegg gir mulighet for prediktiv styring av snøsmelteanlegg. Dette innebærer at anlegget kan styres i dag med tanke på hvordan været ser ut til å bli i morgen og dagene fremover.

Bakken kan dermed holdes i beredskap kun når nødvendig og oppvarmingen til beredskapstemperatur kan tillates å ta lenger tid dersom det er rom for dette. Dette gjør at prognosestyring potensielt kan bidra til både redusert energiforbruk og reduserte effekttopper.

5.1 Prinsipp

Formålet med prognosestyring er å styre snøsmelteanlegget slik at energiforbruket reduseres ned mot reelt energibehov for snøsmelting. Det største besparelspotensialet ligger i å minimere energiforbruket som kan tilknyttes opprettholdelse av en beredskapstemperatur i bakken (standby-drift), som for flere snøsmelteanlegg med dagens styring utgjør rundt 70% av det totale energiforbruket.

Dette gjøres ved å benytte parametere fra værprognosen som styringsparameter i logikken til snøsmelteautomatikken. I kombinasjon med målte parametere, vil værprognosen avgjøre om standby skal startes/stoppes. Standby startes kun når det varsles om værforhold som tilsier behov for smelting og bakkens overflatetemperatur er under forhåndsdefinert temperaturgrense. Allerede eksisterende styringsfunksjoner vil sørge for styring av smeltefunksjonen.

5.2 Styringsparametere

Styringsfunksjonen vil bestå av parametere fra værprognosen og målte parametere fra følere (temperaturføler, fuktighetsføler, o.l), hvor de sistnevnte parametere vil variere ut fra eksisterende styringsautomatikk. Aktuelle parametere fra værprognosen er:

Utetemperatur (°C)

Forventet utetemperatur gir i kombinasjon med forventet nedbørsmengde informasjon om nedbøren vil komme i form av snø, og dermed være med på å avgjøre om bakketemperaturen bør holdes i beredskap.

Nedbørsmengde (mm)

Sammen med forventet utetemperatur vil forventet nedbørsmengde indikere om det kommer et snøfall i nærmeste framtid, og hvor mye det vil snø. Snø varsles alltid som regn, i millimeter, siden temperaturen bestemmer hvor mye snøen vil bygge. Mengden er relevant i styringen da det ikke vil være nødvendig å kjøre opp bakketemperaturen dersom det kun forventes en minimal nedbørsmengde. Grensen for hva som er ”minimalt” kan defineres i styringsfunksjonen.

Relativ luftfuktighet (RF) (%)

Forventet relativ luftfuktighet vil sammen med forventet utetemperatur gi forventet duggpunktstemperatur. Duggpunktstemperaturen kan benyttes til å indikere faren for påriming eller isdannelse. Dersom faren for påriming er stor, kan bakketemperaturen heves for unngå rim- og isdannelse.

Skydekke %

Forventet skydekke vil sammen med forventet utetemperatur indikere faren for påriming eller isdannelse (i hovedsak på grunn av bakkens strålingsutveksling med atmosfæren, som øker ved redusert skydekke).

Vindhastighet (m/s)

Ved høy vindhastighet vil den effektive temperaturen være betraktelig lavere enn målt temperatur, og det kreves mer energi for å varme opp bakken. Forventet vindhastighet kan benyttes til å forhindre kjøring av snøsmelteanlegget når vindhastigheten er for høy (og når den effektive temperaturen er for lav) og det ikke er nok kapasitet til snøsmelting.

Værsymbol

Ved å benytte værsymbolet som styringsparameter, vil man begrense antall styringsparametere fra værprognosen da flere av disse allerede er inkludert i værsymbolet.

Sannsynlighet for at værprognosen treffer (%)

Sannsynlighetskoden for værprognosen kan benyttes både for å avgjøre om snøsmelteanlegget skal starte standby og eventuelt hvilken standby-funksjon som skal startes (dersom det finnes flere standby-nivå).

5.3 Praktisk anvendelse

For å kunne benytte parametere fra værprognosen til styring av snøsmelteanlegg, må værdata innhentes til undersentralen på en eller annen måte. Det enkleste er trolig å benytte *web services*, siden denne metoden tillater direkte kommunikasjon mellom to enheter over internett.

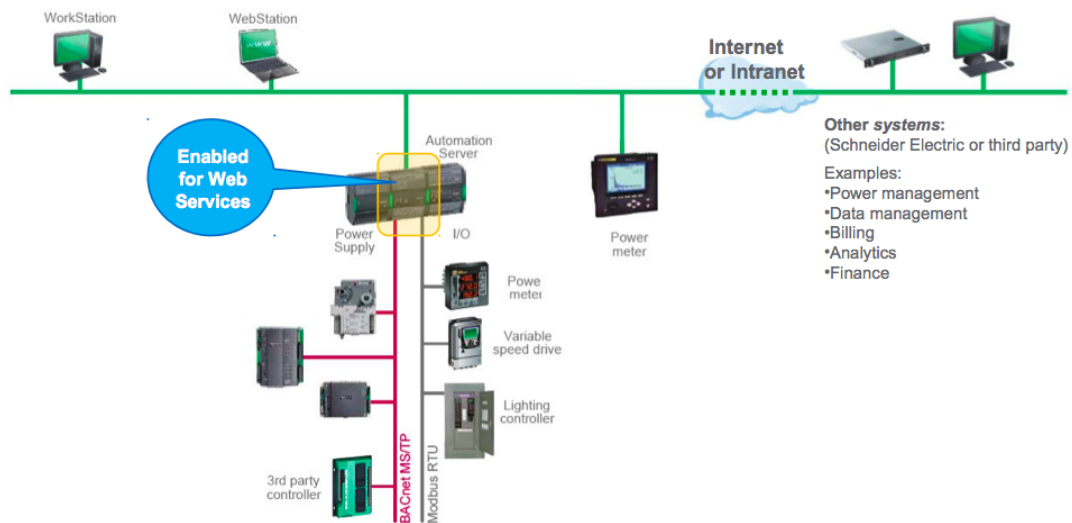
En web service er definert av W3C⁸ som *et software system som er designet for å støtte maskin til maskin interaksjon/kommunikasjon over et nettverk*. Kort beskrevet er en web service en kommunikasjonsmetode mellom to elektroniske enheter over internett eller intranett, hvor den ene enheten etterspør data fra en andre og XML-baserte meldinger utveksles. Vanligvis brukes HTTP/HTTPS for å overføre meldingene [18].

Med web services kan systemer utveksle data over internett selv om de er skrevet i ulike programmeringsspråk og benyttes på ulike plattformer. Videre er web services basert på åpne standarder, noe som gjør brukeren uavhengig av leverandør.

For å benytte web services til prognosestyring trengs et kommunikasjonsknutepunkt. Dette kan for eksempel være en undersentral med grensesnitt mot regulatoren til snøsmelteanlegget og mot internett, som vist i figur 11 på neste side. Værprognosen hentes fra internett og kombineres med andre styringsparametere i en logisk funksjon. Resultatet av denne funksjonen (output) vil være et styrings-signal til regulatoren. Logikken kan enten ligge i undersentralen eller på et høyere nivå i kommunikasjonsstrukturen.

Hvor hyppig det skal etterspørres værdata defineres for den enkelte web service-koblingen. Det vil være hensiktsmessig å sette dette intervallet tilnærmet lik værprognosenes oppdateringsintervall da hyppigere etterspørsel ikke vil gi ny informasjon.

⁸World Wide Web Consortium



Figur 11: Mulig kommunikasjonsstruktur med web services [17].

5.3.1 Aktuelle værprognose-produkter

Værprognosen kan hentes via api.met.no/weatherapi [19], som er et grensesnitt mot data fra Meteorologisk institutt. Værprognosene ligger i et API-system som er et programatisk grensesnitt til et "forespørsel-svar" meldingssystem som eksponeres via nettet, og som kan betraktes som et synonym for web services. API-systemet til værprognosene er delvis basert på web service-programmeringstypen REST. Alle forespørslene gjøres via HTTP GET og svarene returneres som XML eller et annet passende format. Det er mulig å hente ulike typer prognoser (eksempelvis for sannsynlighet, skogsbrannindeks og ekstremvær) og formatet til hver av disse er dokumentert. Prognosetype og område kan defineres i URLen, på følgende måte:

<http://api.met.no/weatherapi/prognosetype/versjon/breddegrad/lengdegrad/>

Aktuelle produkter for prognosestyring vil være de som inneholder styringsparametrene definert i avsnitt 5.2 på side 27. To eksempler på dette er nærmere beskrevet under. Begge gir værprognose over en 9-dagers periode for ønsket område og oppdateres to ganger daglig. Sannsynligheten for at prognosen treffer oppgis i begge produktene [19].

Locationforecast (current 1.8)

Gir full prognose over en 9-dagers periode for ønsket område. Produktet inneholder følgende parametere: temperatur, nedbør, vindhastighet, vindretning, fuktighet, trykk, skydekke, tåke, lave skyer, medium høye skyer, høye skyer, værsymbol og sannsynlighet. I tillegg oppgis minste og største verdi for forventet nedbørsmengde. Figur 12 viser et utklipp fra XML-filen som inneholder tidspunkt og lokasjon som prognosen gjelder for, minste og største verdi (henholdsvis minvalue og maxvalue) for forventet nedbørsmengde og værsymbol med tilhørende sannsynlighet.

```
- <time datatype="forecast" from="2013-11-09T12:00:00Z" to="2013-11-09T18:00:00Z">
- <location altitude="485" latitude="60.1000" longitude="9.5800">
  <precipitation unit="mm" value="1.8" minvalue="1.1" maxvalue="2.5"/>
  <symbol id="SNOW" number="13"/>
  <symbolProbability unit="probabilitycode" value="1"/>
</location>
</time>
```

Figur 12: Utklipp fra XML-fil ved bruk av Locationforecast.

Sannsynligheten for at prognosen treffer for temperatur, vind og værsymbol presenteres som et tall mellom 0 og 2 på følgende måte:

0 : [90% , 100%]

1 : [50% , 90%>

2 : [0% , 50%>

Probabilityforecast (1.1)

Gir sannsynlighetsprognosen over en 9-dagers periode for ønsket område. I denne prognosen gis 10, 25, 50, 75 og 90 persentilene for temperatur og nedbør for hver 6.time.

5.4 Funksjonsbeskrivelse

Som et resultat av denne oppgaven er det utarbeidet en fullstendig funksjonsbeskrivelse for prognosestyring av snøsmelteanlegg med væskefylte rørsløyfer, vedlagt i vedlegg A på side 52. Videre er en undersentral blitt programmert basert på denne funksjonsbeskrivelsen, og simuleringer gir tilfredsstillende respons på det fiktive anlegget (start og stopp av de ulike syklusene og endring av varmepådrag ved endring

av settpunkt). Utklipp fra programmeringsfilen og et skjermbilde fra simuleringen er vedlagt i vedlegg B på side 61. En forenklet utgave av funksjonsbeskrivelsen er presentert i følgende avsnitt.

5.4.1 Mulige bryterinnstillinger for styringstavle

Manuell av

Snøsmeltenlegget er av.

Manuell på

Snøsmelteanlegget er på. Ved overstyring til *Manuell på* skal det gis aktivt varsel i alarmbehandlingen på SD-anlegget hver 6. time.

Auto

Av

Snøsmeltenlegget er av.

Standby

Når snøsmelteanlegget går i standby-funksjon vil regulatoren sørge for varmepådrag slik at ønsket bakketemperatur oppnås (beredskapstemperatur).

Smelting

Når snøsmelteanlegget går i smeltefunksjon vil regulatoren sørge for varmepådrag slik at ønsket overflatetemperatur oppnås (snøen smelter).

Beskrivelse av *Auto*

Snøsmelteanlegget er av så lenge det ikke er meldt snøfall.

Standby aktiveres når innhentet værprognose varsler om et kommende snøfall med forhåndsdefinert sannsynlighetskode. For eksempel kan dette skje når nummeret på værsymbolet i prognosen er 8, 13, 14, 19 eller 21 og sannsynlighetskoden er 0 eller 1.

Snøsmelteanlegget holdes i *Standby* til

- fuktighetsføleren detekterer fuktighet og anlegget går over i *Smelting*. Anlegget bør holdes i smeltesyklus en gitt tid etter at snøostaten er tørr (etter smelting) for å sikre at all snø er borte. Etter ettersmeltingen vil anlegget gå tilbake i *Standby* eller over i *Av* dersom det ikke varsles om snøfall.

- etter en gitt tid uten snødeteksjon og værprognosen ikke lenger varsler snøfall. Anlegget vil da gå over i *Av*.

Når det varsles om et nytt snøfall vil anlegget på nytt kjøre opp bakketemperaturen til standby-nivå.

5.4.2 Flere standby-nivå og bruk av sannsynlighetskode

For å begrense unødvendig oppkjøring av bakketemperaturen som følge av feilvarslet vær, kan det være hensiktsmessig å definere flere standby-nivå med ulike aktiverende og regulerende settpunkt. Hvilket standby som startes kan avhenge av sannsynligheten til værprognosen.

Dersom snøsmelteanlegget har to standby-nivå, der det ene nivået styres og reguleres etter lavere temperaturer enn det andre, vil sannsynligheten til værprognosen kunne benyttes på følgende måte:

- Ved 0 – 50% sannsynlighet for snøfall (sannsynlighetskode 2) starter *Standby lav*
- Ved over 50% sannsynlighet for snøfall (sannsynlighetskode 0 og 1) starter *Standby høy*
- Regulerende og aktiverende settpunkt for bakketemperaturen ved *Standby høy* er høyere enn ved *Standby lav*

På denne måten begrenses antall unødvendige oppkjøringer av bakketemperaturen til høyeste beredskapstemperatur (*Standby 2*) som følge av feilvarslet snøfall, siden dette kun skjer når sannsynligheten for snøfall er over en viss grense (i dette eksempelet over 50%).

5.5 Tidsperspektiv på værprognosen

Værprognosen kan inneholde varsler for flere dager frem i tid, med en tidsoppløsning opp til 6 timer. Basert på tidligere erfaringer vil de fleste søsmelteanlegg respondere godt i løpet av en 24-timers periode [21]. Videre oppgis sannsynlighetskoden kun for en 6-timers periode. På bakgrunn av dette, og siden treffsikkerheten på værprognosen som regel synker jo lenger frem i tid prognosen dekker, kan det være hensiktsmessig å hente parametere fra værprognosen for følgende tidspunkter:

- 6 – 12 timer frem i tid
- 12 – 18 timer frem i tid

- 18 – 24 timer frem i tid

Værprognosen angir tidspunktet for når et snøfall er forventet, og dermed tidspunktet for når bakketemperaturen bør holde ønsket beredskapstemperatur. Siden tiden det tar å varme opp bakken avhenger av flere forhold, vil neste problemstilling være relatert til optimalt oppstartstidspunkt av *Standby*.

5.6 Oppstartstidspunkt

Oppstartstidspunktet for *Standby* anses å være av stor betydning i forhold til å kunne minimere energiforbruket samtidig som at bakketemperaturen holder ønsket temperatur ved det tidspunktet snøfallet forventes. Dersom bakketemperaturen er relativt høy, kan det være tilstrekkelig å starte snøsmelteanlegget et par timer i forkant av det varslede snøfallet. Omvendt kan det være nødvendig å starte snøsmelteanlegget flere timer i forkant dersom bakketemperaturen er lav når varselet mottas.

Tiden det tar å varme opp bakken er avhengig av flere ulike faktorer. Blant disse er mulig effektuttak i varmeveksleren til snøsmelteanlegget, varmeledningsevnen til rørene og bakken, overbygging av dekket, vindforhold med mer.

Dersom oppvarmingstiden er kjent fra en gitt bakketemperatur, kan optimalt oppstartstidspunkt finnes, både med tanke på å minimere energiforbruk og effektuttak.

Oppvarmingskarakteristikken kan finnes og benyttes på følgende måter:

- Gjennom testing av snøsmelteanlegget og bruk av "look up"-tabell:
Etter endt testperiode vet en omtrent hvor lang tid det tar å varme opp bakken fra en gitt temperatur til beredskapstemperatur. Dette kan lagres i en egendefinert look-up tabell for regulatoren og benyttes i startkriteriet.
- Ved å benytte en adaptiv regulator:
Den adaptive regulatoren beregner når den må starte pådraget, og med hvilken effekt, for at bakketemperaturen skal ha oppnådd beredskapstemperatur til ønsket tidspunkt.

5.6.1 Adaptiv regulator

En adaptiv regulator er en regulator som kontinuerlig evaluerer sin egen prestasjon i forhold til hvordan systemet ønskes regulert, og som automatisk justerer seg til en mer optimal innstilling.

Den adaptive regulatoren kan beregne både optimalt settpunkt for turtemperatur og optimalt oppstartstidspunkt. Beregningene baseres på det aktuelle systemets (snøsmelteanleggets) oppvarmingsmodell og på værprognoser. Oppvarmingsmodellen genereres med utgangspunkt i målte data, mens værprognosene kan hentes fra en ekstern kilde, eksempelvis fra en meteorologisk tjeneste [20].

Ved styring av snøsmelteanlegg, vil den adaptive regulatoren vite når den skal gi varmepådrag til snøsmelteanlegget, samt nødvendig effekt, for at bakkeoverflaten skal ha oppnådd en gitt temperatur til ønsket tidspunkt. Ved å benytte adaptiv regulering i prognosestyring, vil optimaliseringen av oppstartstidspunktet dermed skje automatisk.

5.7 Oppdatering av parametere

Værprognosene i API-systemet oppdateres to ganger om dagen. Dette innebærer at parametere i værprognosen kan endre verdi opp til to ganger i løpet av en dag. I utgangspunktet vil det derfor være tilstrekkelig å innehente værprognosen via web services to ganger daglig, da en høyere frekvens på etterspørselen ikke vil endre styringsparametere som avgjør hvilket styringssignal som skal gis.

5.8 Back up

Som ved alle andre automatiske styringsfunksjoner, bør mulighetene for svikt i prognosestyringen hensyntas ved å ha en "back up-løsning". Eksempler på back up-løsninger for noen situasjoner er beskrevet under.

Mislykket innhenting av værdata

Undersentralen kan programmeres slik at flere gjenforsøk utføres ved mislykket innhenting av værdata. Antall gjenforsøk og intervallet mellom disse kan forhånds-defineres. Videre kan undersentralen programmeres slik at en alarm om mislykket tilkobling vises på grensesnittet mot brukeren (for eksempel SD-anlegget). Dersom tilkoblingen fortsatt er mislykket, kan snøsmelteanlegget styres på konvensjonell måte⁹ til problemet er løst.

⁹Basert på målte tilstander.

Feilvarslet vær

Dersom et snøfall inntreffer uten at dette har blitt varslet, kan snøsmelteanlegget manuelt overstyres og settes i smeltefunksjon.

Ved feilvarsel om snøfall (ved plutselig endret værprognose eller at det varslede snøfallet ikke inntreffer), vil anlegget ha gått i *Standby* unødvendig. Likevel vil driftstiden i *Standby* totalt sett å være mindre enn ved konvensjonell styring.

5.9 Risiko / Implikasjoner

Siden prognosestyring tillater en svært lav bakketemperatur i kalde og nedbørsfrie perioder, kan dette by på flere utfordringer. Disse bør vurderes og tas hensyn til allerede i prosjekteringen av snøsmelteanlegget.

Økt pårimingsfare

Faren for påriming av bakken vil trolig øke siden bakketemperaturen oftere vil ligge under duggpunktstemperaturen (se avsnitt 2.1.1 på side 4).

Tilising av tekniske komponenter og høye effektuttak

For snøsmelteanlegg basert på vannbåren varme, vil returvannet¹⁰ på sekundærsiden i snøsmeltekursen ha en svært lav temperatur etter en kald og nedbørsfri periode. Dette kan øke risikoen for tilising eller frostsprenging av varmeveksleren og andre tekniske komponenter ved oppstart av anlegget. Videre vil det være en økt risiko for fortykning av vann/glykol-blandingen, noe som bidrar til økt trykktap og endrede kriterier for varmeoverføring.

Ved oppstart av anlegget, når den kalde vann-glykolblandingen varmvexles mot varmt turvann på primærsiden, vil energimåleren registrere et høyt effektuttak som følge av stor ΔT mellom tur- og returvannstemperaturen på primærsiden. Høye effektuttak bør unngås da deler av energikostnadene avregnes med utgangspunkt i høyeste målte effekttopp (se avsnitt 6 på side 39).

¹⁰Returvannet på sekundærkretsen er en blanding av vann og glykol, hvor glykolandelen utgjør ca. 30%. Dette forholdet er optimalisert mtp. trykktap, varmeoverføringsegenskaper, etc.

5.10 Rim- og issikring av kritiske områder

For områder hvor påriming/ising er spesielt uheldig, eksempelvis innkjøringsramper ved sykehus og offentlige trapper, bør styringsautomatikken inneholde funksjoner som forhindrer påriming/ising. Dette kan gjøres ved å benytte registreringer av relativ luftfuktighet til å beregne duggpunktstemperaturen, og videre bruke denne i et startkriterie for regulatoren. Dersom overflatetemperaturen synker hurtigere enn duggpunktstemperatur, vil bakken mest sannsynlig pårime i nær framtid. Trolig vil det være tilstrekkelig med standby-drift av snøsmelteanlegget for å forhindre rimdannelse, avhengig av regulerende settpunkt for bakketemperaturen.

For eksempel kan følgende startkriterie for regulatoren defineres:

Hvis $\frac{dT_{\text{overflate}}}{dt} > \frac{dT_{\text{duggpunkt}}}{dt}$ og $T_{\text{overflate}} < 1^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{start Standby}$.

Denne funksjonen vil forhindre påriming og ising av bakken siden standby-funksjonen vil sørge for at overflatetemperaturen er høyere enn frysepunktet ved stor pårimingsfare

For områder hvor det ikke er like kritisk med påriming/ising av bakken, kan det være tilstrekkelig å benytte en rimfølger.

5.11 Effektbegrensning

For å unngå høye effekttopper kan regulatoren programmeres med effektbegrensning for varmpådraget. Dette kan praktiseres på flere ulike måter, eksempelvis:

- ved å definere en begrensning for ΔT før og etter varmeveksleren på sekundærsiden. Dette krever at temperaturgivere er installert i sekundærkretsen.
- ved å definere en begrensning for ΔT før og etter varmeveksleren på primærsiden. Temperaturgiverne til energimåleren kan benyttes.
- ved å definere en begrensning for varmpådraget dersom bakketemperaturen er under en definert temperaturgrense (og temperaturløftet for å nå settpunkt er høyt).
- ved å definere en begrensning for varmpådraget for en adaptiv reguator.

Som følge av effektbegrensningen av varmpådraget vil oppvarmingen av bakken skje saktere. Dette vil påvirke oppstartstidspunktet (se avsnitt 5.6 på side 34) ved at dette blir tidligere enn uten effektbegrensning.

5.12 Andre forhold

Opptørking av bakke

Dersom snøsmelteanlegget benyttes til å holde dekningsområdet tørt, kan flere parametere fra værprognosen benyttes i styringsfunksjonen. I dette tilfellet vil besparelspotensialet ved å benytte prognosestyring være mindre, da snøsmelteanlegget oftere vil være i standby og/eller smeltefunksjon.

Utsiktet snøsmelting

Utsiktet snøsmelting oppstår blant annet ved at snø fra områder utenfor dekningsområdet til snøsmelteanlegget fraktes til nedbørsføleren slik at snøsmelting starter. Problemer med utsiktet snøsmelting vil kunne reduseres dersom snøstaten settes til inaktiv så lenge lenge det ikke er behov for snøsmelting (når værprognosene ikke varsler om et kommende snøfall). En bør da være oppmerksom på at snøsmelteanlegget ikke vil gå over i standby- eller smeltefunksjon automatisk med mindre værprognosen varsler snø.

5.13 Diskusjon

Prognosestyring som beskrevet i dette kapitlet er ikke blitt testet enda, men et testprosjekt vil bli utført i nær fremtid. Snøsmelteanlegget som skal testes har vannbåren varme og vil styres med utgangspunkt i den vedlagte funksjonsbeskrivelsen. Etter testperioden vil funksjonsbeskrivelsen sannsynligvis revideres, da det ved testing som regel oppstår nye problemstillinger som krever nye løsninger.

6 Økonomi

For å kunne styre et snøsmelteanlegg optimalt, må energikostnadene som kan tilknyttes snøsmelteanlegget være kjent.

6.1 Generelt om energikostnader

Dagens tariffer for strøm og fjernvarme består av tre ulike ledd:

- fastprisledd
- energiledd
- effektledd

For strøm betaler en både for selve strømmen og for leie av strømnettet, nettleie. Spotprisen på strømmen varierer på timesbasis, men strømprisen kan også være avtafefestet. I tillegg må en betale Statens forbruksavgift¹¹ på strøm, samt et påslag¹² for lovpålagt innbetaling til energifondet (Enova).

Fjernvarme og nettleie for strøm

Fastprisleddet er en fast kostnad per anlegg som betales årlig eller på månedsbasis, mens energileddet er en kostnad basert på antall medgatte kWh. Effektleddet er en kostnad basert på høyeste målte effektuttak per måned dersom energimålingene er timesbaserte. Alternativt avregnes effektleddet etter anleggets høyeste effektuttak eller abonnert effekt per kalenderår. Dette gjelder både for strøm og fjernvarme, men prisene vil variere med leverandør og avtale.

6.2 Energiforbruk og effektuttak i tilknytning til snøsmelteanlegg

Figur 13 på neste side viser forholdet mellom energi- og effektleddet ved kjøp av fjernvarme for fire ulike case, med variasjon i energiforbruk og effektuttak etter tabell 3 på neste side. Verdiene for energiforbruk og effektuttak i tabellen er basert på erfaringstall¹³. Energiforbruksprisene er hentet fra Hafslund (se vedlegg C på side 69).

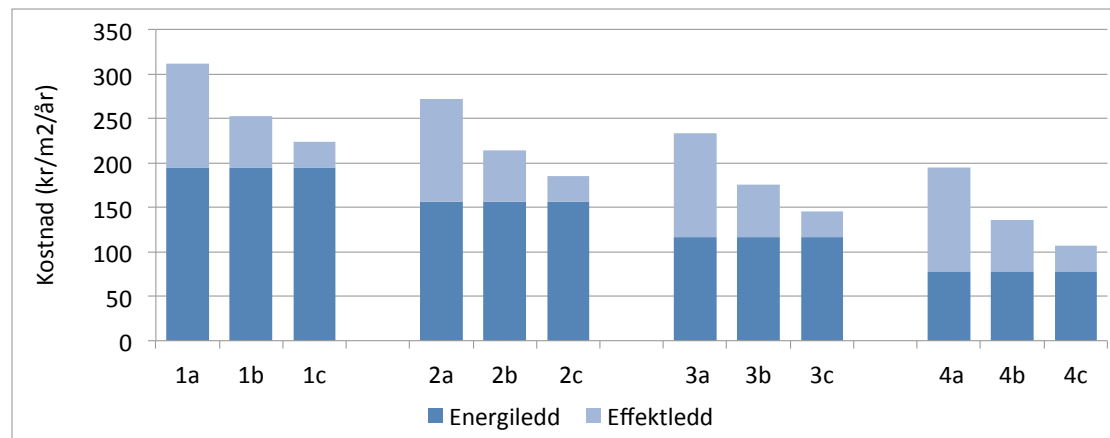
¹¹11,61 øre/kWh.

¹²800 kr/år.

¹³Registrerte verdier i EOS-loggen og Energinet

	Spes. energiforbruk [kWh/m ²]	Midlere makseffekt [W/m ² /mnd]		
		a	b	c
		Case 1	500	200
Case 2	400	200	100	50
Case 3	300	200	100	50
Case 4	200	200	100	50

Tabell 3: Ulike case av et snøsmelleanleggs energiforbruk og effektuttak.



Figur 13: Energikostnader ved kjøp av fjernvarme.

Snøsmelleanlegget med størst energiforbruk og høyest midlere effektuttak, *Case 1a*, har energikostnader over 300 kr/m^2 i året.¹⁴ Energikostnadene for snøsmelleanlegget med lavest energiforbruk og lavest effektuttak, *Case 4c*, er ned mot 107 kr/m^2 i året.

Effektleddets andel av energikostnadene varierer med forbrukskarakteristikken til snøsmelleanlegget, i dette tilfellet alt fra 13 – 60%. For anlegg med lavere energiforbruk vil effektleddets andel av energikostnadene naturlig nok være større, siden effektleddet avregnes med utgangspunkt i det høyeste registrerte effektuttaket.

6.3 Kostnadsoverslag ved prognosestyring

Tabell 4 på neste side viser tre ulike case av prognosestyring; med 0, 10 og 30 % reduksjon av effekttoppene ut fra case *a – b* i tabell 3 på denne siden. Det

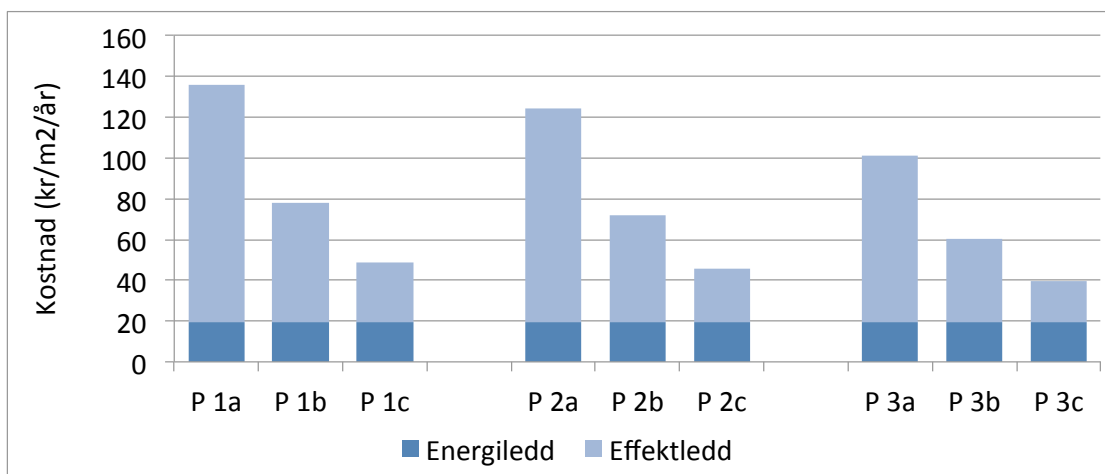
¹⁴Ekskl. fastpris per anlegg og mva.

spesifikke energiforbruket er anslått med utgangspunkt i erfaringstall for de best styrte snøsmelteanleggene, og forutsetter at antall snøfall gjennom året er mellom 40 og 80 [21].

	Spes. energiforbruk [kWh/m ²]	Midlere makseffekt [W/m ² /mnd]		
		a	b	c
		Prognosestyring (P1)	50	200
Prognosestyring (10% reduksjon av effekttopp) (P2)	50	180	90	45
Prognosestyring (30% reduksjon av effekttopp) (P3)	50	140	70	35

Tabell 4: Anslått energiforbruk og effektuttak ved prognosestyring av snøsmelteanlegg

Figur 14 viser forholdet mellom energi- og effektleddet for de ulike casene med prognosestyring. Det lave energiforbruket medfører at effektleddets andel av de samlede energikostnadene vil være vesentlig større enn ved tradisjonell styring, her fra 50 – 85 %.



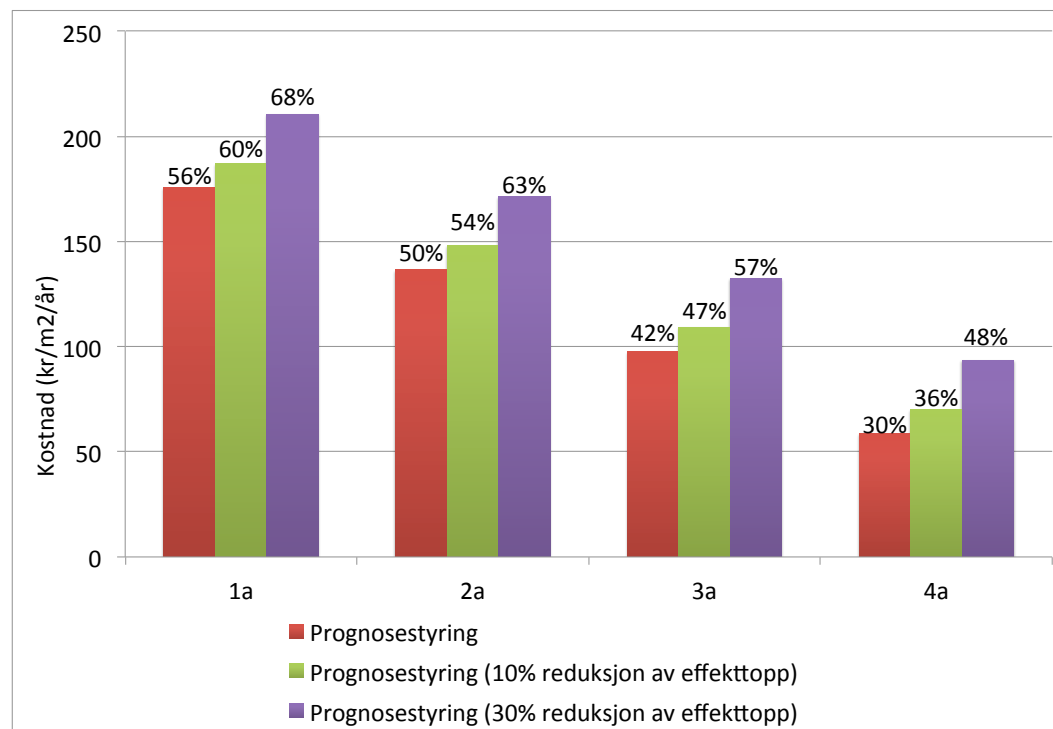
Figur 14: Anslåtte energikostnader ved prognosestyring og kjøp av fjernvarme.

Kostnaden for maksimalt effektuttak innebærer at en kan spare energi uten at de samlede energikostnadene nødvendigvis blir lavere. Dette kan skje dersom en reduserer driftstiden til et snøsmelteanlegg (for eksempel ved å redusere standby-drift) og tillater en lavere bakketemperatur i kalde og nedbørsfrie perioder, *uten* å hensynta risikoen for høyt effektuttak ved oppstart av anlegget. Dette understreker behovet for effektbegrensning av varmpådraget for prognosestyrte snøsmelteanlegg (se avsnitt 5.11 på side 37).

6.4 Besparingspotensialet ved prognosestyring

Figur 15 viser potensiell årlig besparelse av energikostnader for case 1–4 a (se tabell 3 på side 40) ved overgang til prognosestyring. Besparingspotensialet vil naturlig nok være større for snøsmelteanlegg som i utgangspunktet har et høyt energiforbruk og høye effekttopper.

Dette beregningseksempelet viser en potensiell besparelse på 30 – 68 % av opprinnelige energikostnader.



Figur 15: Potensiell årlig besparelse av energikostnader ved prognosestyring, med utgangspunkt i *Case 1 – 4 a*.

Konkret eksempel - Metro kjøpesenter

Beregningene i eksempelet under er basert på energiforbruket til Metro kjøpesenter i Oslo og fjernvarmepriser fra Hafslund (se vedlegg C på side 69). Energiforbruket ved prognosestyring anslås å være i størrelsesorden 50 kWh/m^2 , omtrent 20% av energiforbruket til snøsmelteanlegget ved Metro i 2012. Anslått reduksjon av effekttoppene er her 10 og 30%.

Inndata for beregningene, samt månedlige beregninger over energi- og effektkostnadene vises i vedlegg D på side 70, og er oppsummert i tabell 5 på denne siden.

Inndata	
Areal (m^2)	2 000
Energiforbruk 2012 (kWh)	486 200
Spesifikt energiforbruk 2012 (kWh/m^2)	243
Høyeste målte effektuttak (kW)	630
Anslått spes. energiforbruk ved prognosestyring (kWh/m^2)	50
Forholdstall energiforbruk (prognosestyring/konvensjonell)	0,21

Tabell 5: Inndata for økonomiske beregninger.

Kostnader fjernvarme (NOK)	Energi	Effekt	Sum	Besparelse
Kostnad (konvensjonell styring)	211 041	213 741	424 782	
Kostnad (prognosestyring, 10% reduksjon av effekttopp)	43 406	192 367	235 773	
Kostnad (prognosestyring, 30% reduksjon av effekttopp)	43 406	149 619	193 025	
Besparelse (10% reduksjon effekttopp)				189 009
Besparelse (30% reduksjon effekttopp)				231 757

Tabell 6: Potensiell besparelse med prognosestyring

Tabell 6 viser en potensiell årlig besparelse på rundt 189 000 kr (44%) i året ved oppnåelse av 10% reduksjon av effekttoppene. Dersom en oppnår 30% reduksjon av effekttoppene vil besparelspotensialet øke til 232 000 kr (55%) i året.

6.5 Investeringskostnad ved prognosestyring

Det er usikkert hvor stor investeringskostnaden for denne type prognosestyring av snøsmelteanlegg vil være da dette ikke eksisterer på markedet per dags dato. Investeringskostnaden vil avhenge av allerede eksisterende styringsautomatikk, men store ombygninger av anlegget antas ikke å være nødvendig. Dersom prognosestyring blir valgt som styringsfunksjon allerede i prosjekteringen av snøsmelteanlegget, vil investeringskostnaden trolig ikke overstige investeringskostnaden til annen avansert snøsmelteautomatikk.

For å kunne prognosestyre et snøsmelteanlegg som beskrevet i vedlegg A på side 52, trengs en snøostat med to målepunkt for bakketemperatur og en fri programmerbar DDC eller PLS undersentral med mulighet for mottak av web services. En snøostat med to målepunkt for temperatur koster rundt 10 000 kr, mens en undersentral kan koste alt fra 12 000 – 50 000 kr (ekskl. mva), avhengig av funksjonalitet [22]. I tillegg kommer installasjonskostnader.

6.6 Diskusjon

Beregningene i dette kapitlet viser at optimal styring av snøsmelteanlegg vil være å styre snøsmelteanlegget på en slik måte at både energiforbruk og effekttopper blir lavest mulig. Det er samtidig viktig å ivareta tilfredsstillende funksjon. Dette innebærer at driften til hvert enkelt snøsmelteanlegg bør optimaliseres etter brukeren(e)s behov.

Med prognosestyring vil man kunne oppnå både redusert energiforbruk og reduserte effekttopper. Motsatt kan manglende effektbegrensning i prognosestyringen føre til høye effekttopper, og abonnenten kan i verste fall risikere økte samlede energiutgifter.

7 Diskusjon

Styring og energiforbruk

Settpunkttemperaturen for når fuktighetsføleren (eventuelt snøostaten) skal være aktiv av stor betydning for energiforbruket. Dersom denne er for høy vil anlegget gå i smeltefunksjon når det ikke er snø, men regn, som detekteres av fuktighetsføleren. Da meteorologene varsler om snøfall dersom det forventes nedbør ved en utetemperatur under $0,5^{\circ}\text{C}$, bør dette settpunktet ligge rundt 1°C , avhenging av snøsmelteanleggets formål.

Siden dagens styring av snøsmelteanlegg stort sett er basert på målte tilstander, tas det ikke høyde for et værskifte før det allerede er inntruffet. På grunn av systemets termiske treghet innebærer dette at man hele tiden vil henge etter, og store effektuttak kan være nødvendig for å smelte effektivt.

For å begrense denne tidsforsinkelsen, og de største effektuttakene, benyttes standby-regulering ved nyere snøsmelteanlegg. Men siden kjøring av standby kun er avhengig av temperatur, vil anlegget være i beredskap også i kalde og klare perioder som oftest er tørre og snøfrie. Dette innebærer at mye av energiforbruket til snøsmelteanlegg med standby-regulering kan reduseres ved å begrense bruk av standby i perioder hvor det mest sannsynlig ikke vil være behov for snøsmelting.

En bør være oppmerksom på at snøsmelteanleggene som er presentert i denne rapporten er anlegg som har et eget målepunkt oppført i et energioppfølgingssystem. Dette betyr at det er tiltenkt energioppfølging på snøsmelteanleggene, men det er ikke entydig med at dette faktisk gjøres. Likevel kan det antas at de presenterte snøsmelteanleggene er blant dem med lavest spesifikt energiforbruk.

Etter å ha vært i kontakt med driftsansvarlige ved de flere ulike anlegg, også utover de presenterte anleggene, er generell oppfatning snøsmelteanleggets energioppfølging ikke er i fokus. Ved flere anlegg mangler dokumentasjon/kunnskap om snøsmelteanlegget, både med tanke på anleggets dekningsområde, hva som er installert av styringsautomatikk og hvordan det aktuelle snøsmelteanlegget kan driftes optimalt.

Videre finnes det mange snøsmelteanlegg som ikke har en egen strøm-/energimåler eller hvor energiforbruket til snøsmelteanlegget ikke kan beregnes, noe som gjør energioppfølging vanskelig. På grunn av stor variasjon i spesifikt energiforbruk og siden det ofte er installert stor effekt, er det mye som tyder på at disse snøsmelteanleggene har et betraktelig større energiforbruk enn dem som er presentert i denne rapporten.

Snøsmelteanlegg bør, på lik linje med andre tekniske installasjoner i bygningen, utrustes med egen strøm-/energimåler for å tilrettelegge for energioppfølging. Videre bør driftsansvarlige informeres om hva som er "normalt" energiforbruk for snøsmelteanlegg ved den aktuelle beliggenheten og hvordan de kan drifte sitt anlegg optimalt.

Energiforbruket til de presenterte snøsmelteanleggene varierer med antall snø dager, og dermed tilsynelatende etter behov. Variasjoner i spesifikt energiforbruk kan skyldes annet enn kvaliteten på styringen, blant annet variasjon i snøsmelteanleggets bruksområde eller hvor værutsatt dekningsområdet er. Snøsmelteanlegg som benyttes til andre formål utover snøsmelting (for eksempel til å holde arealer tørre) eller har dekningsområder hvor det ofte samles opp snøføyk, vil dermed ha et større energibehov enn anlegg som kun benyttes til snø- og ismelting eller som har mer værskjærmede dekningsområder. Store variasjoner i spesifikt energiforbruk for anlegg med tilnærmet lik lokasjon og formål tyder likevel på at det foreligger et besparingspotensiale for flere av anleggene gjennom å forbedre styringen.

Dersom kunnskap om morgendagens vær benyttes til styring av snøsmelteanlegg, forventes sammenhengen mellom variasjon i energiforbruk og vær å være større. Tidligere erfaringer ved å bruke værprognoser i styringen ga store energibesparelser, men kommunikasjonsmetoden mellom tjenesteleverandør/værstasjon og snøsmelteanlegget fungerte ikke tilfredsstillende. En ny metode for hvordan værprognoser kan benyttes til automatisk styring av snøsmelteanlegg bør derfor utarbeides.

Prognosestyring

For å benytte værprognoser til automatisk styring av snøsmelteanlegg må formatet være av en type som styringsenheten kan gjenkjenne. Videre må værprognosen inneholde de ønskede parameterne som skal benyttes i styringen.

Siden prognosestyring tillater en svært lav bakketemperatur i kalde og nedbørsfrie perioder, kan dette by på utfordringer som økt pårimingsfare ved bakkeoverflaten, økt risiko for tilising og frostsprengning av tekniske komponenter, fortykning av vann-glykolblandingen i sekundærkretsen og høye effektuttak ved oppstart av anlegget. Dette er forhold som bør hensyntas allerede i prosjekteringen av anlegget.

Prognosestyring som beskrevet i denne oppgaven er ikke blitt testet enda, men et pilotprosjekt vil trolig startes nær fremtid. Snøsmelteanlegget som skal testes har vannbåren varme og vil styres med utgangspunkt i den vedlagte funksjonsbeskrivelsen.

8 Konklusjon

Det spesifikke energiforbruket til de best styrte snøsmelteanleggene ligger ned mot 100 kWh/m^2 i året, mens energiforbruket til dårligere styrte anlegg kan ligge mellom $500\text{-}1000 \text{ kWh/m}^2$ per år. For snøsmelteanlegg med standby-funksjon, antas energiforbruket til standby-drift å utgjøre rundt 70% av totalt energiforbruk.

Ved å benytte parametere fra presise værprognose kan snøsmelteanleggets styringsfunksjon optimaliseres slik at energiforbruket reduseres ned mot reelt energibehov for snøsmelting. Aktuelle styringsparametere fra værprognosen er utetemperatur, nedbørsmengde, relativ luftfuktighet, skydekke, vindhastighet, værsymbol og sannsynlighet for at prognosen treffer. Siden værsymbolet er en kombinasjon av flere parametere, kan det i første omgang være tilstrekkelig å benytte værsymbol og tilhørende sannsynlighet.

Parameterne fra værprognosen kombineres med målte verdier i en logisk funksjon for start og stopp av standby-drift, der standby kun tillates når det varsles om værforhold som tilsier behov for snøsmelting. Allerede eksisterende styringsfunksjoner vil styre smeltefunksjonen, mens en adaptiv regulator kan sørge for optimalt oppstartstidspunkt av standby og effektbegrensning av varmepådraget. Funksjonsbeskrivelse med utklipp fra tilhørende programmeringsfil er vedlagt i vedlegg A og B.

Gjennom beregningseksemplene i avsnitt 6 på side 39, ble det vist at optimal styring av snøsmelteanlegg innebærer å styre snøsmelteanlegget på en slik måte at både energiforbruk og effekttopper blir lavest mulig, samtidig som at tilfredsstillende funksjon ivaretas.

Prognosestyring kan potensielt gi redusert energiforbruk og reduserte effekttopper, hvor det ligger et stort besparelspotensiale ved å begrense bruk av standby. Motsatt kan manglende effektbegrensning av varmepådraget føre til høye effekttopper, og abonnenten kan i verste fall risikere økte samlede energiutgifter.

9 **Anbefalinger til videre arbeid**

I denne rapporten er det diskutert hvordan værprognoser kan benyttes til optimal styring av snøsmelteanlegg, og en funksjonsbeskrivelse er utarbeidet. Neste steg vil være å implementere prognosestyring i praksis, og forslag til videre arbeid er å:

- gjennomføre et pilotprosjekt for å undersøke hvordan og hvor godt prognosestyring fungerer i praksis, og eventuelt revidere vedlagte funksjonsbeskrivelse etter endt testperiode
- gjennomføre en markedsundersøkelse for å kartlegge markedspotensialet for prognosestyring
- optimalisere styringsfunksjonen ytterligere slik at flere parametere kan implementeres ved behov (som for eksempel vindhastighet og duggpunktstemperatur)

Referanser

- [1] Entro, *EOS-loggen*, www.web-eos.no/mnk/eos-loggen/Default.aspx?redirect=true, [15.12.2013]
- [2] Cebyc AS, *Energinet - environment control online*, <https://www.energinet.net>, [15.12.2013]
- [3] CuroTech AS, *FDVweb*, <http://fdvweb.no/hovedsider/index.asp>, [15.12.2013]
- [4] K. B. Jonsson (2012), *Bruk av værprognoser for optimal styring av bygningers tekniske installasjoner*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for energi- og prosessteknikk.
- [5] J.Mamen, A. Kristensen, G. Rogstad, A. H. Mahle, *Meteorologi og klimastasjoner*, Rapport nr 4/2005 Veg- og trafikkavdelingen, Statens vegvesen, http://www.vegvesen.no/_attachment/290262/binary/512533 , [10.10.2013]
- [6] Aiwell AS, *Temperatur- og snøfølere for Ice Control-1000*, http://www.karlanda.net/FDV/Aiwell_temp_foler.pdf, [16.11.2013]
- [7] Variant VVS Norge AS, *Snøsmelteanlegg*, <http://www.variantvvs.no/index.php/snosmelteanlegg> , [23.08.2013]
- [8] Aiwell AS (2012), *Vindmåler*, <http://www.aiwell.no/no/index.php?mod=estore&do=prodview&catid=24&prodid=36> , [23.08.2013]
- [9] H. Larsen, Meteorologisk institutt, Telefonsamtale med meteorologikonsulent, [11.09.2013]
- [10] C. Grosch (2012), Jan Grosch AS, Personlig e-post korrespondanse, [29.10.2012]
- [11] Meteorologisk Institutt, *eKlima*, <http://www.eklima.met.no>, [14.09.2013]
- [12] N. Sondell, Meteorolog, Personlig e-post korrespondanse, [10.11.2012]
- [13] Meteorologisk Institutt, *yr.no*, <http://www.yr.no/>, [20.11.2013]
- [14] Earth System Research Laboratory, *Regional Modeling*, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, <http://www.esrl.noaa.gov/research/themes/regional/>, [05.11.2013]
- [15] Meteorologisk Institutt, *Vêrsymbol på yr.no*, <http://om.yr.no/forklaring/symbol/>, [07.09.2013]

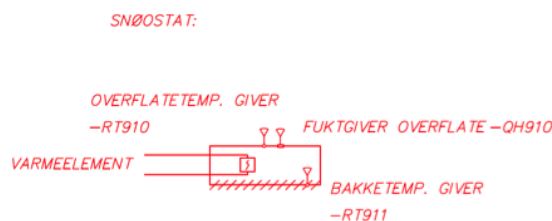
-
- [16] Meteorologisk Institutt, *Langtidsvarsel for Oslo*, <http://www.yr.no/sted/Norge/Oslo/Oslo/Oslo/langtidsvarsel.html>, [07.09.2013]
- [17] Schneider Electric, *Web Services and EcoStructure™ Web Services*, Presentasjon av Nariman Fakhraee, [07.2013]
- [18] W3C (2013), *Web of Services*, <http://www.w3.org/standards/webofservices/>, [01.10.2013]
- [19] Meteorologisk Institutt, *Welcome to the WeatherAPI*, <http://api.met.no/weatherapi/documentation>, [15.11.2013]
- [20] Siemens (2012), *Desigo - Energy-efficient applications: Predictive and self-adapting heating controller*, Application data sheet
- [21] S. J. Undhjem, Evotek AS, Samtale, [09.2013]
- [22] K. Ditlefsen, Evotek AS, Samtale, [11.2013]
- [23] Hafslund *Priser og vilkår*, Hafslund fjernvarme, http://www.hafslund.no/fjernvarme/priser_og_vilkaar/2069, [03.09.2013]

A Funksjonsbeskrivelse

– prognosestyring av snøsmelteanlegg med væskefylte sløyfer

Dette er en funksjonsbeskrivelse for prognosestyring med to ulike standby-nivå og bruk av værprognosen Locationforecast. Beskrivelsen gjelder for et snøsmelteanlegg med vannbåren varme, snøostat med to målepunkt for bakketemperatur og fri programmerbar DDC undersentral eller PLS med mulighet for mottak av web services.

Veletablerte løsninger for regulering på primærsiden av varmeveksleren (som ivaretar frostsikring) skal benyttes, men er ikke nærmere beskrevet her. Det skal også defineres effektbegrensning for regulatoren.



Snøostat med to målepunkt for bakketemperatur.

Det vil være to ulike automatiske funksjoner, Auto 1 og Auto 2, hvorav Auto 1 benytter parametere fra innhentet værprognose i styringsfunksjonen. Styringsmuligheter via SD-anlegget:

Manuell overstyring:

Manuell av:

Anlegget er av.

Manuell Standby lav:

Anlegget reguleres etter tilstand *Standby lav* og forblir i *Standby lav* til innstillingen endres manuelt. Ved manuell overstyring til *Standby lav* skal det gis aktivt varsel hver 18. time i alarmbehandler på SD-anlegg. Ved nedbør i form av snø, vil anlegget gå over til *Smelting*.

Manuell Standby høy:

Anlegget reguleres etter tilstand *Standby høy* og forblir i *Standby høy* til

innstillingen endres manuelt. Ved manuell overstyring til *Standby høy* skal det gis aktivt varsel hver 18. time i alarmbehandler på SD-anlegg.

Manuell smelting:

Anlegget reguleres etter tilstand *Smelting* og forblir i *Smelting* til innstillingen endres manuelt. Ved manuell overstyring til *Smelting* skal det gis aktivt varsel hver 6. time i alarmbehandler på SD-anlegg.

Auto 1 (med bruk av web services og værprognoser):

Av: anlegget er av.

Standby lav: anlegget holder en minimumstemperatur i bakken ($T_{min,1}$) for raskere smelting ved overgang til smeltesyklus.

Standby høy: anlegget holder en minimumstemperatur i bakken ($T_{min,2}$) når værprognosen varsler stor sannsynlighet for snøfall ($> 50\%$ sikkerhet) for raskere smelting ved overgang til smeltesyklus. $T_{min,2} > T_{min,1}$.

Smelting: anlegget går i smeltesyklus.

Auto 2 (kun bruk av snøostat):

Av A2: anlegget er av.

Standby A2: anlegget holder en minimumstemperatur i bakken ($T_{min,2}$) for raskere smelting ved overgang til smeltesyklus.

Smelting A2: anlegget går i smeltesyklus.

Auto 1

Auto 1 benytter parametere fra værprognosen.

Av

Anlegget er i *Av* så lenge det ikke meldes om snøfall.

Anlegget forblir i *Av* til

- værprognosen varsler om snøfall og syklus *Standby lav* eller *Standby høy* startes. Hvilket standby-nivå som startes avhenger av hvilken sannsynlighet som angis i værprognosen og i hvilket tidsintervall snøfallet forventes. Dersom overflatetemperaturen er under snøostatens aktiverende settpunkt, vil snø som faller på platen registreres som fuktighet av fuktighetsgiveren. Dersom fuktighetsgiveren detekterer fukt, vil anlegget gå over i syklus *Smelting*.

- bakketemperaturen faller under settpunkt "Aktiver Standby lav II" og syklus *Standby lav* startes.

Standby lav

Standby lav aktiveres av bakketemperaturgiveren, RT911, og / eller parametere fra værprognosen. *Standby lav* skal være aktiv når følgende er oppfylt:

- bakketemperaturen er lavere enn settpunkt "Aktiver Standby lav I" og værprognosen varsler snøfall med sannsynlighetskode 2 (< 50% sikkerhet), samt at forventet nedbørsmengde er større enn innstilt verdi (mm).
- og / eller bakketemperaturen er lavere enn settpunkt "Aktiver Standby lav II" (sikkerhetsfunksjon, nedre grense for bakketemperaturen).
- settpunkt "Deaktiver Standby lav" er større enn differansen mellom målt bakketemperatur og overflatetemperatur.

Når syklus *Standby lav* er aktiv vil anlegget regulere etter settpunkt "Standby lav-temperatur". Dette kalkulerte settpunktet er flytende og fremkommer av $\text{overflatetemperatur} + (\text{ønsket } \Delta T \text{ mellom bakke- og overflatetemperatur}) - (\text{målt } \Delta T \text{ mellom bakke- og overflatetemperatur})$

Anlegget vil gå i syklus *Standby lav* til et eller flere av følgende kriterier er oppfylt:

- fuktighetsgiveren detekterer fukt og anlegget går over i *Smelting*.
- sikkerheten til snøvarselet øker (> 50%) og anlegget går over i *Standby høy*.
- bakketemperaturen overstiger settpunkt "Aktiver Standby lav I" og anlegget går i *Av*.
- overflatetemperaturen faller under settpunkt "Deaktiver Snøostat" og anlegget går i *Av*.

Standby høy

Standby høy aktiveres av parametere fra værprognosen. *Standby høy* skal være aktiv når følgende er oppfylt:

- bakketemperaturen er lavere enn settpunkt "Aktiver Standby høy" og værprognosen varsler snøfall med sannsynlighetskode 0 eller 1 (> 50% sikkerhet), samt at forventet nedbørsmengde er større enn innstilt verdi (mm).

- settpunkt "Deaktiver Standby høy" er større enn differansen mellom målt bakketemperatur og overflatetemperatur.

Når syklus *Standby høy* er aktiv vil anlegget regulere etter settpunkt "Standby høy-temperatur". Dette kalkulerte settpunktet er flytende og fremkommer av $\text{overflatetemperatur} + (\text{ønsket } \Delta T \text{ mellom bakke- og overflatetemperatur}) - (\text{målt } \Delta T \text{ mellom bakke- og overflatetemperatur})$

Anlegget vil gå i syklus *Standby høy* til et eller flere av følgende kriterier er oppfylt:

- fuktighetsgiveren detekterer fukt og anlegget går over i *Smelting*.
- sikkerheten til snøvarselet reduseres (< 50%) og anlegget går over i *Standby lav*.
- overflatetemperaturen faller under settpunkt "Deaktiver Snøostat" og anlegget går i *Av*.

Syklusene for standby-regulering ("Deaktiver Standby lav" og "Deaktiver Standby høy") må tunes til det enkelte anleggets responstid for å sikre rask og effektiv snøsmelting ved behov.

Smelting

Når *Smelting* er aktiv vil anlegget regulere etter settpunkt "Smeltetemperatur". Dette settpunktet bør være relativt høyt for å gi et tilstrekkelig høyt pådrag og sikre rask snøsmelting. Denne foreslås som basis satt til 7 °C (innstillbart i SD-anlegg).

Dersom overflatetemperaturen når "Aktiver snøostat", skal anlegget gå over i *Av*.

Dersom fuktgiveren slutter å detektere fukt, skal anlegget gå over i "Standby høy".

Generelt

Ved mislykket tilkobling via web services for innhenting av værprognose, etter spørres prognosen gjentatte ganger med et forhåndsdefinert intervall. Dersom tilkoblingen fortsatt er mislykket, vil anlegget automatisk gå over i *Auto 2* og forbli i *Auto 2* inntil manuell tilbakekobling til *Auto 1* utføres. I dette tilfelle skal det gis et aktivt varsel i alarmbehandler på SD-anlegget hver 6. time.

Dersom prognosen slår feil og et snøfall kommer uventet, vil fuktighetsgiveren detektere fukt og anlegget går over i *Smelting*. For å forhindre høye effektuttak

defineres effektbegrensning for regulatoren. Det legges inn 10 minutter forsinkelse (innstillbart i SD) ved detektering av fukt før anlegget startes, fordi noe feilplassert plate kan bli påvirket ved at man trækker på den med fuktige sko, etc.

Når *Smelting* blir aktivert skal dette ligge inne i minimum 30 minutter (innstillbart i SD).

Settpunkt

Eksempler i tabell 7 på side 58 kan benyttes til orientering.

Symboloversikt, Locationforecast

Liste over korresponderende nummer og ID for symbolelementer i Locationforecast:

- 8 Snowsun
- 13 Snow
- 14 Snowthunder
- 19 Snowsun(used for winter darkness)
- 21 Snowsunthunder

Auto 2

Auto 2 benytter ikke parametere fra værprognosen.

Av A2

Anlegget er i *Av A2* så lenge overflatetemperaturen er høyere enn settpunkt "Aktiver snøostat A2". Ved settpunkt "Aktiver snøostat A2" aktiveres varmeelementet i snøostaten. Dette smelter eventuell snø på platen. Dersom det ikke detekteres fuktighet vil anlegget forbli i *Av A2*.

Anlegget forblir i *Av A2* til fuktighetsgiveren, QH 910, detekterer fuktighet og syklus for smelting starter, eller dersom bakketemperaturen faller under settpunkt "Aktiver standby A2" og syklus Standby-regulering starter.

Ved synkende utetemperatur vil anlegget være aktivt helt til overflatetemperaturen faller under settpunkt "Deaktiver snøostat A2" eller "Deaktiver standby A2", som igjen setter anlegget over i *Av A2*.

Smelting A2

Når *Smelting A2* er aktiv, vil anlegget regulere etter settpunkt "Smeltetemperatur". Dette settpunktet bør være satt relativt høyt for å gi et høyt pådrag og rask snøsmelting. Denne foreslås som basis satt til 7 °C (innstillbart i SD).

Hvis overflatetemperaturen når settpunkt "Aktiver snøostat", skal anlegget gå over i *Av A2*.

Dersom fuktgiveren slutter å detektere fukt skal anlegget gå over i *Standby A2*.

Standby A2

Standby A2 skal være aktiv når bakketemperaturen er lavere enn settpunkt "Aktiver standby A2" og overflatetemperatur høyere enn settpunkt "Deaktiver snøostat A2", samt at settpunkt "Deaktiver standby A2" er større enn innstilt verdi.

Når syklus *Standby A2* er aktiv, vil anlegget regulere etter settpunkt "Standby A2-temperatur". Settpunkt "Standby A2-temperatur" er gitt av:

overflatetemperatur + (ønsket ΔT mellom bakke- og overflatetemperatur) - (målt ΔT mellom bakke- og overflatetemperatur)

Funksjonen *Standby A2* må tunes (“Deaktiver standby A2”) til det stedlige anleggets responstid for å sikre rask og effektiv snøsmelting ved behov. Jo større verdi for settpunkt “Deaktiver standby A2” anlegget tåler, dess mindre tid i vil anlegget ligge i *Standby A2* .

Anlegget vil gå i syklus Standby-regulering til overflatetemperaturen faller under settpunkt ”Deaktiver snøstat A2” og anlegget går i *Av A2*, fuktgiveren detekterer fukt og anlegget går over i *Smelting A2*, eller bakketemperaturen overstiger settpunkt ”Aktiver standby A2”.

Generelt

Det legges inn 10 minutter forsinkelse (innstillbart fra SD) ved detektering av fukt før anlegget startes, fordi noe feilplassert plate kan bli påvirket ved at man trækker på den med fuktige sko, etc.

Når *Smelting A2* blir aktivert skal dette ligge inne i minimum 30 minutter (innstillbart i SD).

Settpunkt

Eksempler i tabell 9 på side 59 kan benyttes til orientering.

Aktivering	ID-nr	værsymbol	Verdi nedbør (mm)	Sannsynlighetskode	Settpunkt	Temperaturgiver
Aktiver Snøostat					1 °C (hysteres = + 1°C)	RT 910
Aktiver Standby lav I	8, 13, 14, 19, 21		> 2.0	2	-2 °C (hysteres = + 0.5°C)	RT 911
Aktiver Standby lav II					-4°C (hysteres = + 2°C)	RT 911
Aktiver Standby høy	8, 13, 14, 19, 21		> 2.0	0, 1	1°C (hysteres = + 0.5 °C)	RT 911
Deaktiver Snøostat					-8°C (hysteres = +1°C)	RT 910
Deaktiver Standby lav					1.5 K (hysteres = + 0.5°C)	(RT 911 - RT 910)
Deaktiver Standby høy					3 K (hysteres = + 0.5°C)	(RT 911 - RT 910)

58

Tabell 7: Aktiverende settpunkt ved *Auto 1*

Regulerende settpunkt	Aktiv i syklus	Temperaturgiver
Smeltetemperatur	7°C (innstillbart i SD)	RT 910
Standby lav - temperatur	RT 910 + (Deaktiver Standby lav (RT 911 - RT 910))	RT 911
Standby høy - temperatur	RT 910 + (Deaktiver Standby høy (RT 911 - RT 910))	RT 910

Tabell 8: Regulerende settpunkt ved *Auto 1*

Aktivering	Settpunkt	Temperaturgiver
Aktiver snøostat A2	1 °C (hysteres = + 1°C)	RT 910
Aktiver standby A2	1°C (hysteres = + 0.5 °C)	RT 911
Deaktiver snøostat A2	-8°C (hysteres = +1°C)	RT 910
Deaktiver standby A2	3 K	(RT 911 - RT 910)

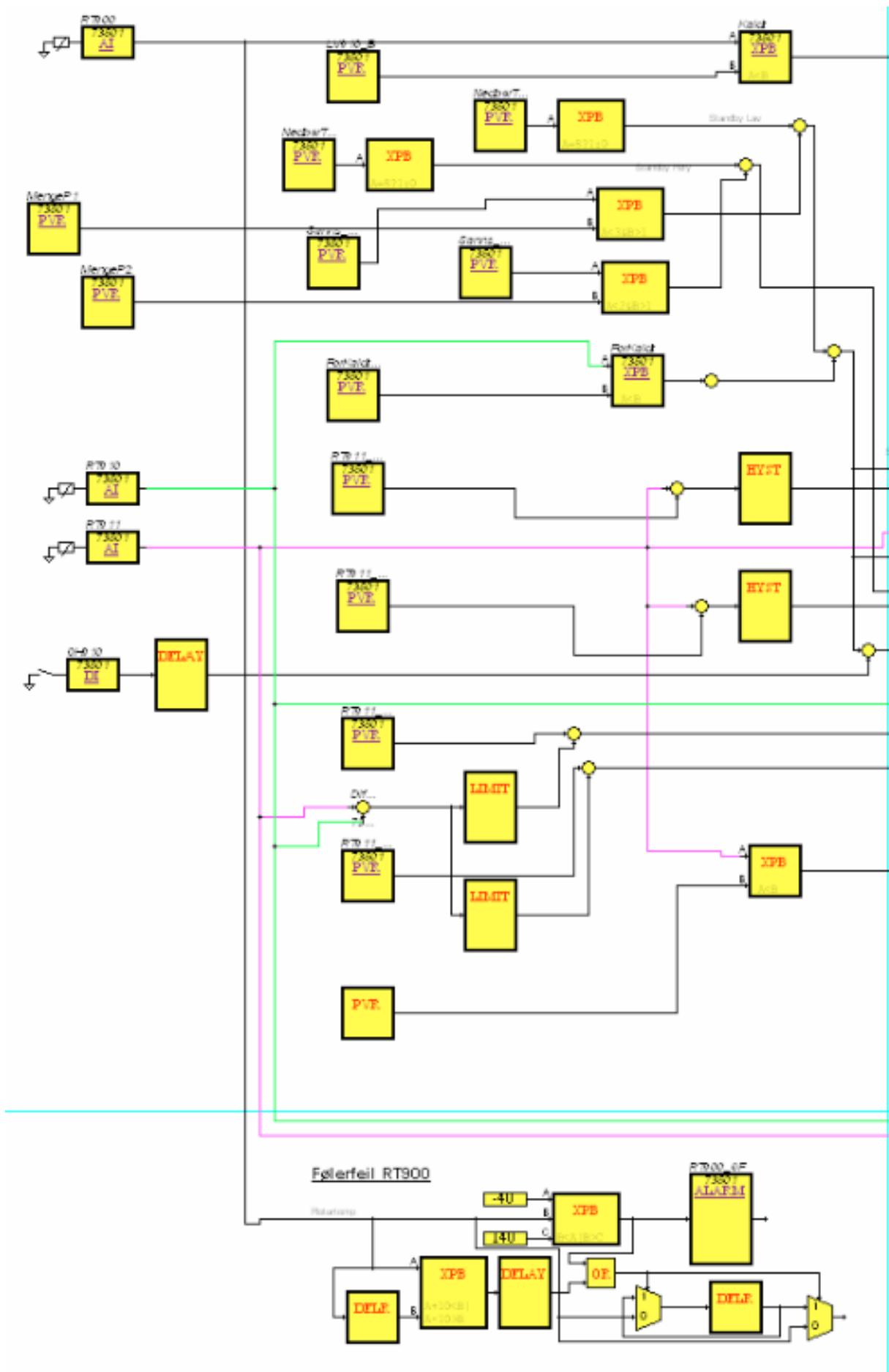
Tabell 9: Aktiverende settpunkt ved *Auto 2*

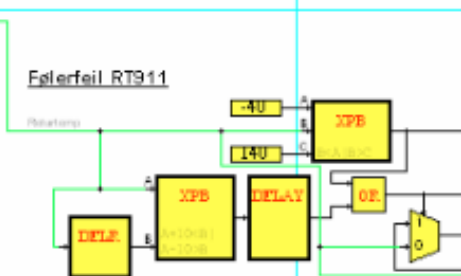
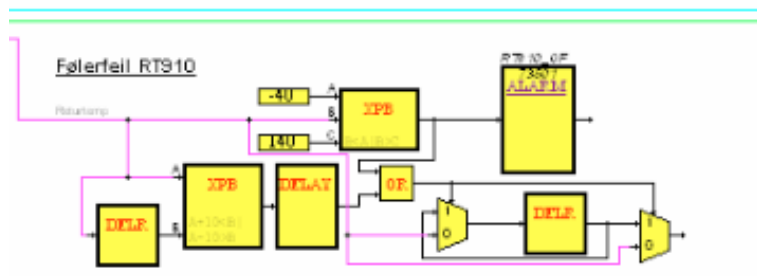
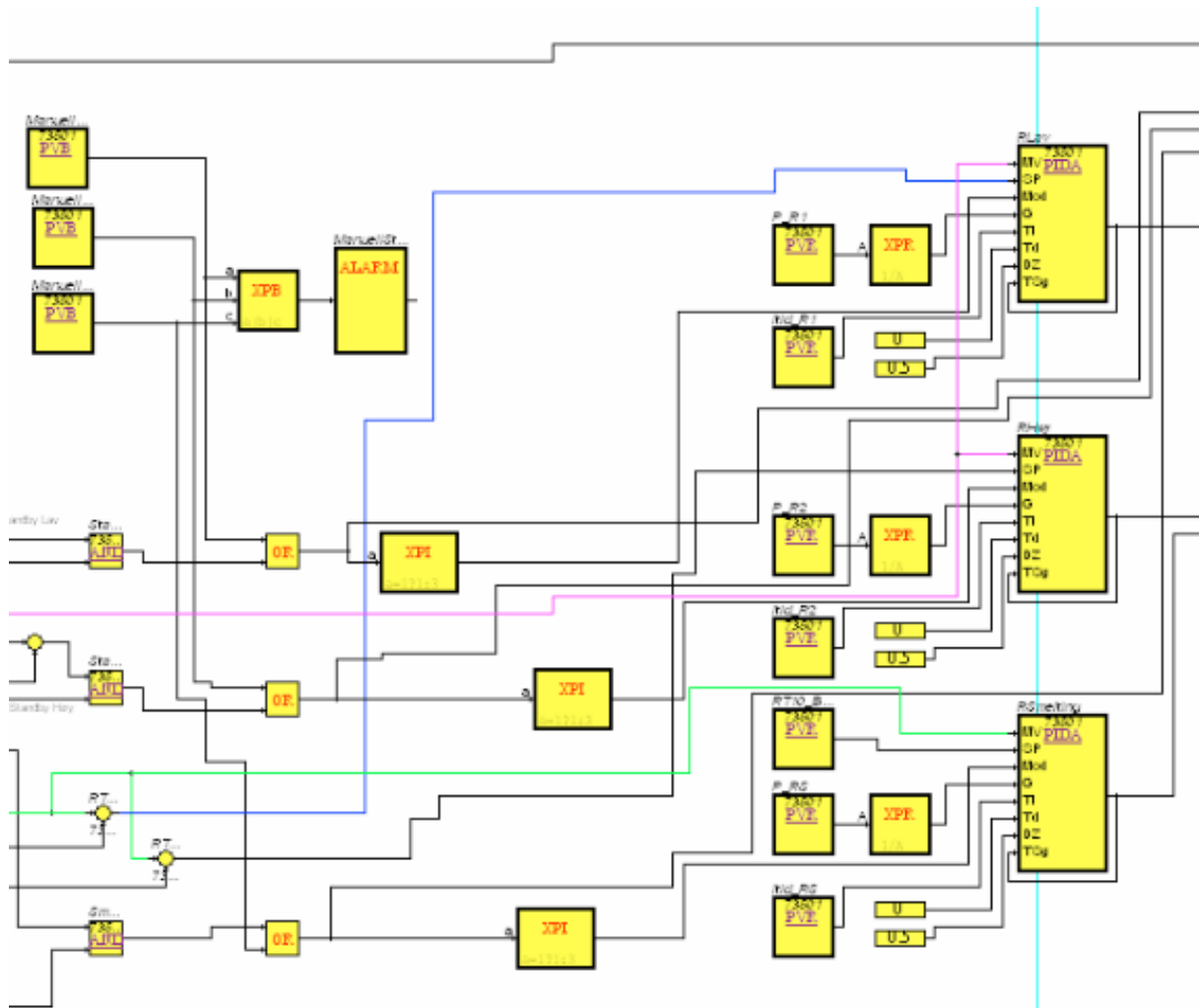
Regulerende settpunkt	Aktiv i syklus	Temperaturgiver
Smeltetemperatur	7°C (innstillbart i SD)	<i>Smelting A2</i>
Standby A2-temperatur	RT 910 + (Deaktiver standby A2 (RT 911 - RT 910))	<i>Standby A2</i>
		RT 910

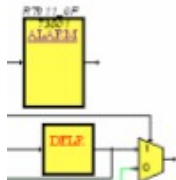
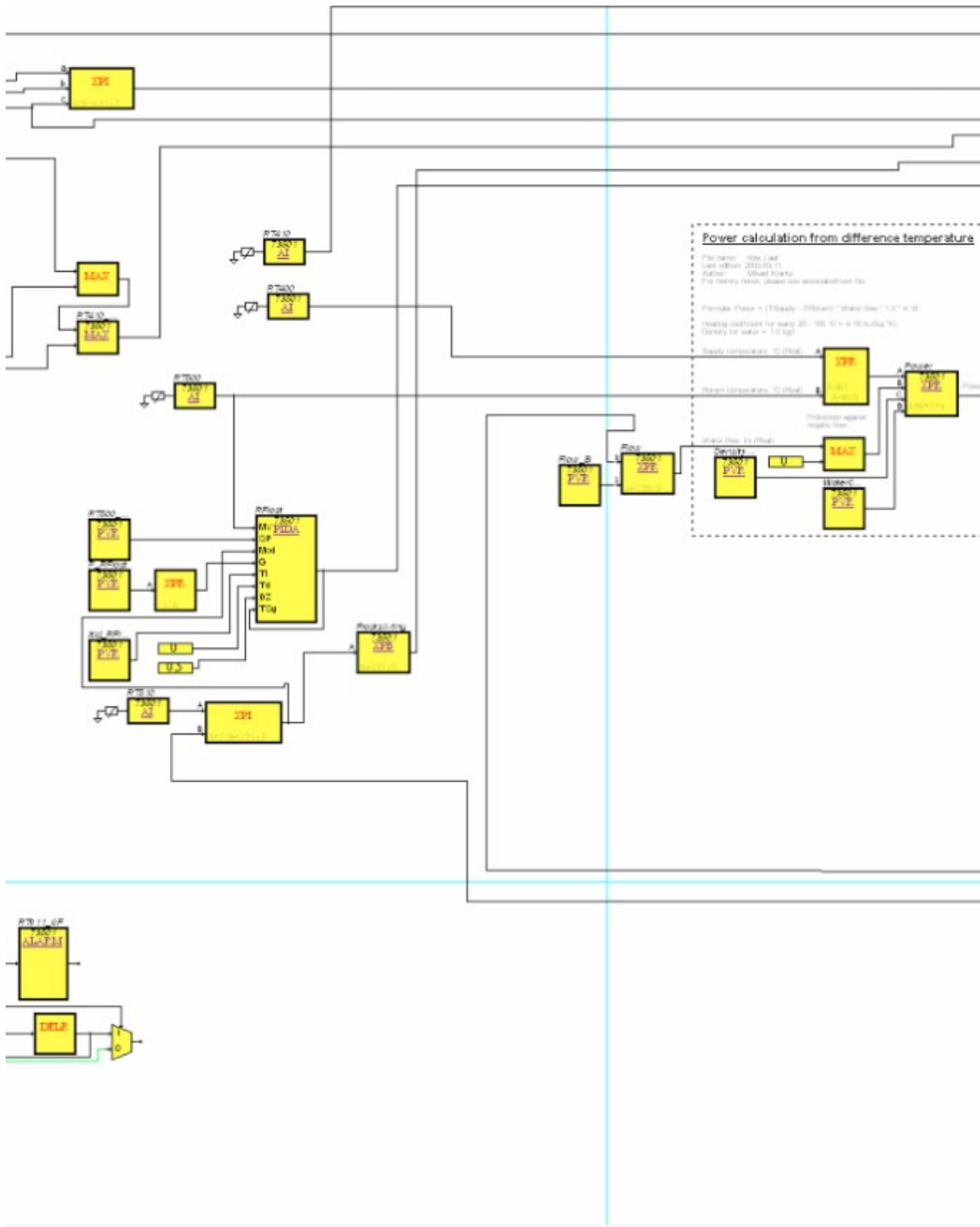
Tabell 10: Regulerende settpunkt ved *Auto 2*

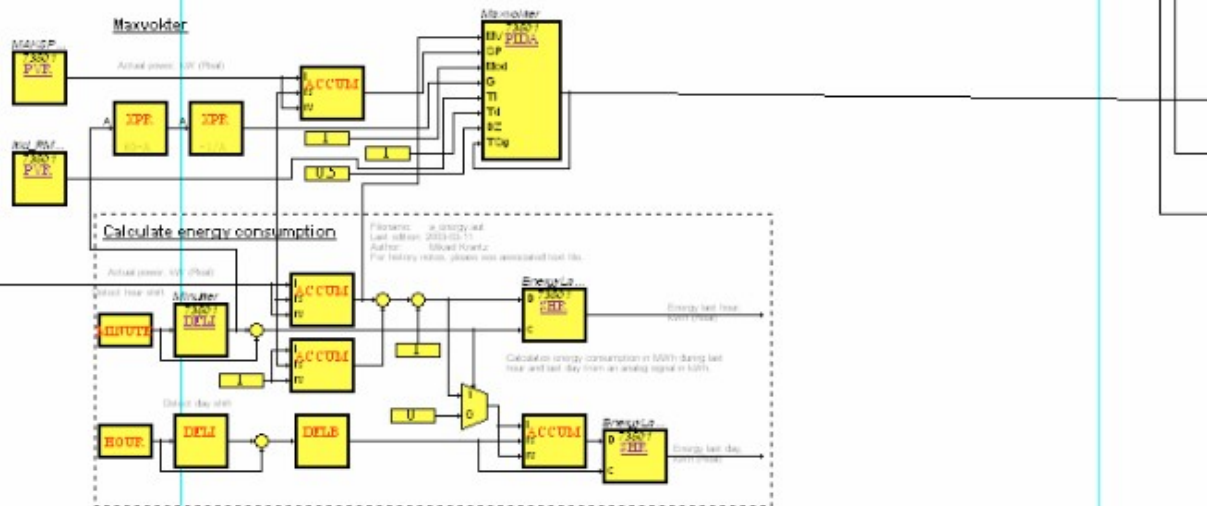
B Programmering og simulering av prognosestyring

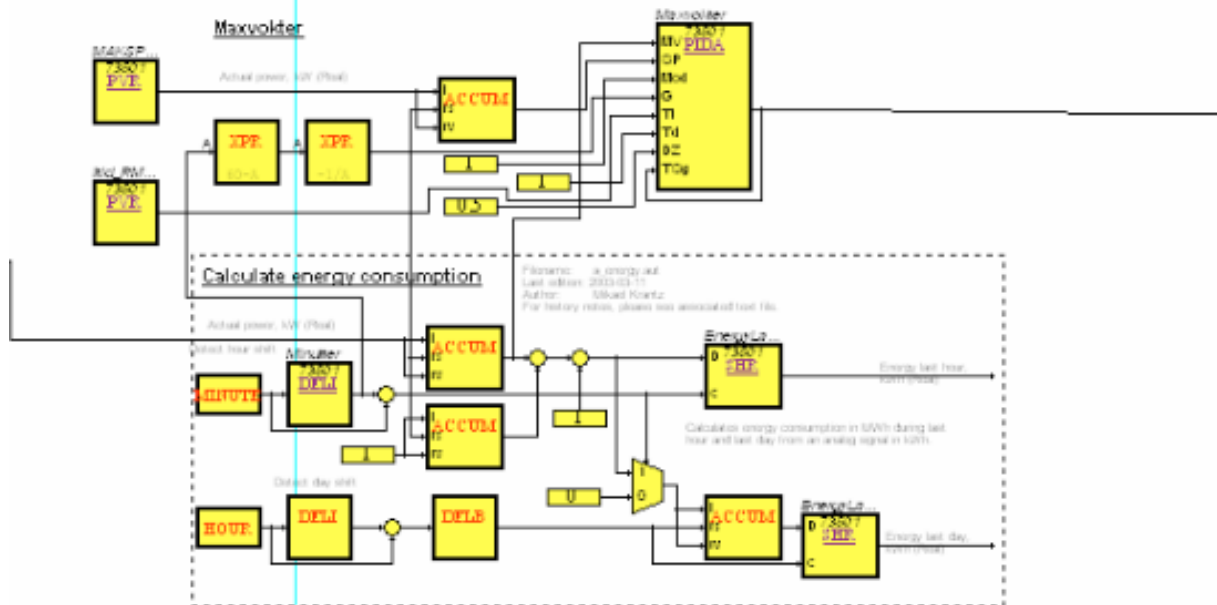
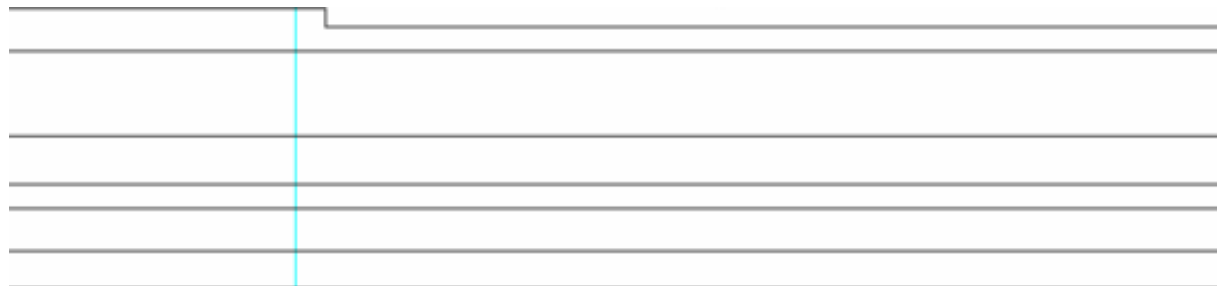
Dette vedlegget viser utklipp fra programmeringsfilen som er utarbeidet basert på funksjonsbeskrivelsen i vedlegg A, samt et skjermbilde fra tilhørende simulering. Programmeringen er utført i samarbeid med Øyvind Sandstad, seniorrådgiver i Evotek.

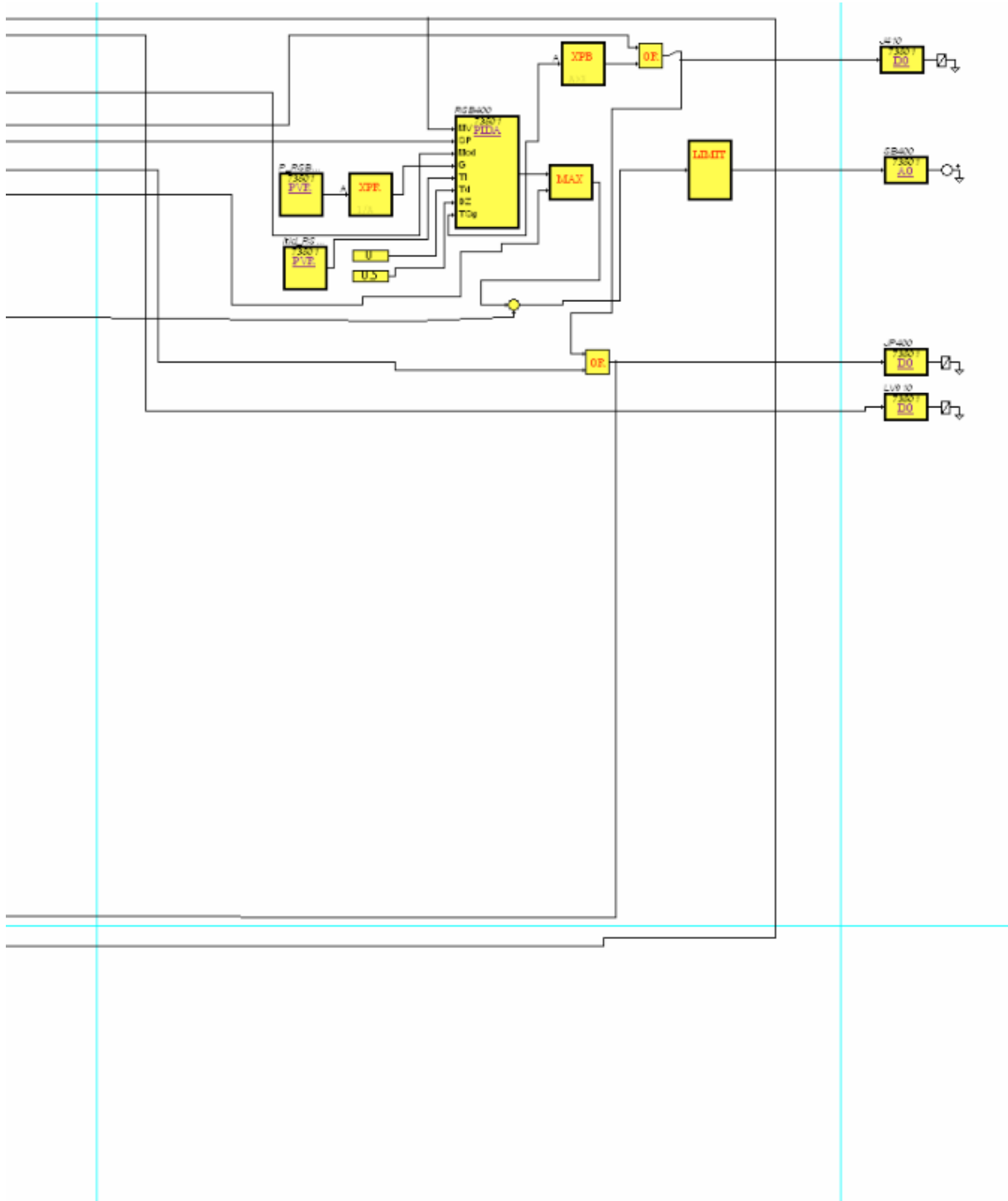












Prognose styrt snøsmeltingTM

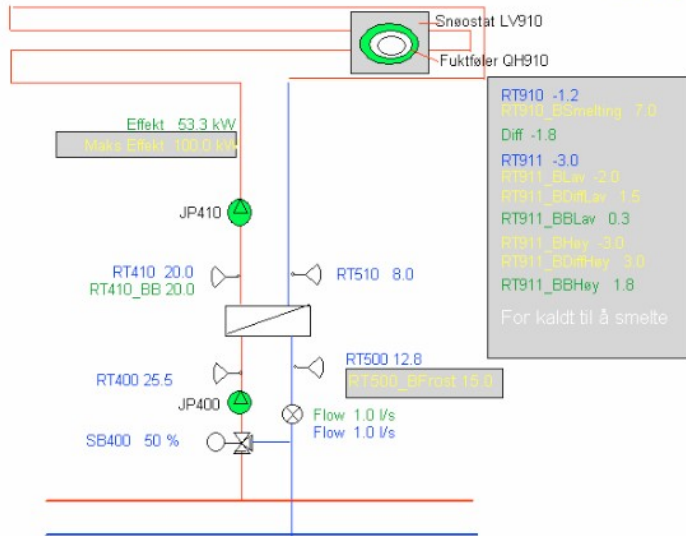
RT900 -2.1

Værprognose fra MET/api :

	6-12 timer	12-18 timer
Værsymbol	8	8
Nedbørsmengde	0.0 mm	3.0 mm
Sannsynlighet	2	0

Standby Lav	● Regulator turtemp Lav	20.0
Standby Høy	● Regulator turtemp Høy	0.0
Smelting	● Regulator turtemp Smelting	0.0
Frostsikring	● Regulator Frost	0 %
	Regulator MAX effekt	- 50 %

-
-
-



C Tariff fjernvarme - Hafslund

Priser fjernvarme (ekskl. mva)			
Måned (2012)	Energiledd (øre/kWh)	Effektledd (kr/kW/mnd)	Fastledd (kr/år)
jan	36.64	69	3.000
feb	41.50	69	
mar	45.33	74	
apr	36.89	25	
mai	37.36	25	
jun	36.14	25	
jul	34.33	25	
aug	29.55	25	
sep	36.78	25	
okt	40.38	25	
nov	43.49	74	
des	49.54	74	

Priser for fjernvarme i 2012 ved Hafslunds avtale for næringsbygg, V6M [23].

D Inndata beregningseksempel

Metro 2012	Energidata		Kostnad (NOK)		
Måned	Energiforbruk (kWh)	Maks. effekt (kW)	Energiledd	Effektledd	
jan	119 597	529	43 817	36 689	
feb	108 531	630	45 038	43 706	
mar	30 404	581	13 782	42 994	
apr	1 270	146	469	3 650	
mai	11	1	4	25	
jun	0	0	0	0	
jul	373	4	128	100	
aug	709	2	210	50	
sep	0	0	0	0	
okt	6 442	291	2 601	7 273	
nov	56 993	505	24 786	37 370	
des	161 902	566	80 206	41 884	
SUM	486 232	-	211 041	213 741	

Forbruksdata i 2012 og beregnede energikostnader ved Metro kjøpesenter. Månedlige registreringer av forbruket er hentet fra Energinet [2].