



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell Økonomi / Operation and Maintenance	Høstsemester, 2016 Åpen
Forfatter: Ørjan Bakken Nilsen (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Atle Øglend	
Tittel på masteroppgaven: Fuktovervåkning i badromskonstruksjoner ved private boliger - Gjennomførbarhetsstudie og kost-nytte vurdering Engelsk tittel: Moisture Monitoring of bathrooms structures at private residences - Feasibility study and cost-benefit evaluation	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Boligvedlikehold (Home maintenance) Tilstandsovervåkning (Condition monitoring) Kost-nytteanalyse (Kost-benefit analysis)	Sidetall: 71 + vedlegg: 4 Stavanger, 14.12.2016

Forord

Denne masteroppgaven er den avsluttende delen av en masterstudie i Industriell økonomi, hvor min studiespesialisering har vært drift og vedlikehold. Oppgaven er normert til 30 studiepoeng. Arbeidet med oppgaven har vært interessant og til tider utfordrende. Jeg vil gjerne rette en takk til fagveileder Atle Øglend fra universitetet for å være tilgjengelig for spørsmål. Videre vil jeg takke min venn og medstudent Erling Pettersen for gode faglige diskusjoner og regelmessige fremdriftsmøter.

Stavanger 12. desember 2016

Ørjan B, Nilsen

Sammendrag:

Manglende vedlikehold i private boliger medfører økt risiko for beboerne og fordyrende følgeskader. Fra industrien vet vi at tilstandsbasert vedlikehold har hatt en risikoreduserende og kostnadsbesparende effekt. Tilstandsbasert vedlikehold går ut på å overvåke tilstanden og å implementere tiltak ved behov. Videre er det kjent at enorm teknologisk utvikling har medført at det i dag omtrent ikke finnes grenser for hva tilstandsovervåkning kan brukes til, dermed var det ønskelig å se på muligheten til å anvende tilstandsbasert vedlikehold ved private boliger. For å avgrense omfanget i studiet ble det besluttet å velge ut en bygningsdel ved boliger som erfaringsmessig har høy skadefrekvens og risiko for skade. Det resulterte i følgende problemstilling,

«Vil tilstandsovervåkning av fukttilstanden i baderomskonstruksjonen ved norske private boliger være hensiktsmessig?»

Med begrepet hensiktsmessig menes,

- Er det teknisk gjennomførbart?
- Er det organisatorisk gjennomførbart?
- Oppnår man fordeler som veier høyere enn kostnaden for å utføre vedlikeholdet?

For å besvare problemstillingen ble det først utført et omfattende litteratursøk for å kartlegge underlaget til analysen. I analysedelen ble det gjort faktiske vurderinger og beregninger for å avgjøre om det ville være hensiktsmessig. Det ble lagt mest vekt på kost-nytte analysen.

Det ble i gjennomførbarhetsstudiet identifisert en metode for tilstandsovervåkning som ble kategorisert som organisatorisk og teknisk gjennomførbart. Metoden går ut på at passive sensorer bygges inn i baderomskonstruksjonen i forbindelse med renovasjon av baderommet. Resonansfrekvensen og kvalitetsfaktoren til sensoren påvirkes av fuktigheten i strukturen rundt. Videre kan fuktigheten leses av med et håndholdt avlesningsapparat fra utsiden av strukturen. Avlesningsapparatet har diagnostiske egenskaper, slik at det ikke kreves utvidet kunnskap fra personen som utfører avlesningen.

Resultatene fra kost-nytte analysen alene verifiserte forøvrig ikke om teknikken vil være kostnadseffektiv, men at det kunne tenkes at fuktovervåkning vil være hensiktsmessig sett i sammenheng med de parameterne som ikke ble tatt med i beregningene.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	ii
Sammendrag:	iii
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Oppgavens struktur.....	2
1.4 Avgrensinger	3
1.5 Begrep og Forkortelser	4
2 Teori.....	6
2.1 Generelt om boligvedlikehold og fukt/vannskader	6
2.1.1 Status boligmassen i Norge	7
2.1.2 Helseeffekt ved eksponering av fukt og råte	11
2.1.3 Steg i riktig retning	12
2.1.4 Særpreget ved boligvedlikehold.....	12
2.2 Vedlikeholdsstrategier	14
2.2.1 Korrektivt vedlikehold	15
2.2.2 Preventivt vedlikehold	15
2.2.3 Tilstandsbasert vedlikehold.....	16
2.3 Vurdering av tilstandsbasert vedlikeholdsstrategi.....	17
2.3.1 Identifisere vedlikeholdselementer	19
2.3.2 Kritikalitetsanalyse	20
2.3.3 Teknisk gjennomførbarhet	21
2.3.4 Organisatorisk gjennomførbarhet.....	23
2.3.5 Kost-nyttevurdering	24
2.4 Svikt og tekniske levetider	29
2.4.1 Sviktfrekvens	29
2.4.2 Sviktklassifisering.....	32
2.4.3 Teknisk levetid.....	32
2.5 Tilstandsovervåking.....	34
2.5.1 Innsamling av data	34
2.5.2 Analyse av målinger	35
2.5.3 Resultat fra analyse	36
2.5.4 Teknologi og utstyr.....	37
2.5.5 Tilstandsovervåking som industriell tjeneste.....	39

2.5.6	Metoder for tilstandsovervåkning	39
3	Metode	41
3.1	Litteratursøk.....	42
3.2	Analyse	42
4	Analyse: Fuktmåling i baderomskonstruksjoner	43
4.1	Generelle forutsetninger	43
4.2	Teknisk gjennomførbarhetsvurdering.....	43
4.3	Organisatorisk gjennomførbarhetsvurdering.....	46
4.4	Kost-nyttevurdering.....	47
4.4.1	Feilkilder ved kost-nyttevurdering	47
4.4.2	Interessenter	47
4.4.3	Alternative vedlikeholdsstrategier	49
4.4.4	Parametere til vurdering	49
4.4.5	Total kostnad uten fuktovervåkning	50
4.4.6	Effekt preventivt vedlikehold	53
4.4.7	Effekt av fuktovervåkning.....	54
4.4.8	NPV kalkulering og sammenstilling av kostnadstall	54
4.4.9	Sensitivitetsanalyse	55
4.4.10	Resultat.....	56
4.4.11	Drøfting av kost-nytte analysen	57
5	Resultater og diskusjon	60
6	Konklusjon.....	62
6.1	Forslag til videre arbeid	62
	Referanser	63
	Vedlegg.....	66
	Vedlegg 1: Tabell årlige kostnader med korrektivt vedlikehold.....	67
	Vedlegg 2: Tabell årlige kostnader med preventivt vedlikehold.....	68
	Vedlegg 3: Tabell årlige kostnader med fuktmåling.....	69

Figuroversikt

Figur 1: Boenheter etter byggeår	7
Figur 2: Bygningselementer med TG3	9
Figur 3: Fukt- og vannskader i norske boliger	9
Figur 4: Typer vedlikehold, tilpasset fra (Syre, 2009).....	14
Figur 5: Prosess for å identifisere kandidater for tilstandsbasert vedlikehold	18
Figur 6: Teknisk gjennomførbarhetsvurdering.....	21
Figur 7 NPV beregning, fra (Senter for statlig økonomistyring, 2010).....	28
Figur 8: "Badekarkurve" (Valen, 2011).....	30
Figur 9: Sviktprosesser, tilpasset fra (Moubray, 1997) og (Conachey & Montgomery, 2003)	31
Figur 10: Sviktklassifisering, tilpasset fra (Rausand & Høyland, 2009)	32
Figur 11: P-F intervall, tilpasset fra (Moubray, 1997)	35
Figur 12: Betingelser for hensiktsmessig tilstandsovervåkning	41
Figur 13: Oversikt over interessenter for fuktovervåkning i baderomskonstruksjonen.....	48
Figur 14: sviktrate over baderommets levetid	52
Figur 15: Sviktrate med preventivt vedlikehold	53
Figur 16: Resultat kost-nytte vurdering	56

Tabelloversikt

Tabell 1: Relevante begreper	4
Tabell 2: Tilstandsgrader i Anticimexrapporten	8
Tabell 3: Tvistårsaker fra Norwegian Broker AS.....	10
Tabell 4: Tvistårsaker fra Protector forsikring.....	10
Tabell 5: Tvistårsaker fra Anticimex forsikring	11
Tabell 6: Kategorisering av bygningselementer, hentet fra (Norsk Standard, 2009)	19
Tabell 7: Eksempel på beregning av forventet levetid.....	34
Tabell 8: Oversikt over interessenter for fuktovervåkning i baderomskonstruksjonen	49
Tabell 9: Fuktskader i baderom fordelt etter byggeår (VASK, 2016)	52
Tabell 10: Resultat fra kost-nyttevurdering av fuktmåling i baderomskonstruksjonen	55

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Som en avsluttende del av masterstudiet ved Universitetet i Stavanger skal det gjennomføres en masteroppgave som teller 30 studiepoeng. Dette prosjektet omhandler tilstandsbasert vedlikehold i private boliger og utgjør en slik oppgave. Hypotesen er at boligeier og samfunnet forøvrig vil være tjent med å praktisere tilstandsbasert vedlikehold. Det antas at det vil ha en kostnadsbesparende og risikoreduserende effekt.

Det er de fleste bekjent at industrielt vedlikehold over de siste tiårene har utviklet seg fra å være ansett som et nødvendig onde, til å bli sett på som en viktig aktivitet fra både et kostnadsperspektiv og et sikkerhetsperspektiv. Forfatter stiller spørsmålsteget ved at industrielt vedlikehold har gjennomgått enorm utvikling som har gitt stor verdiskapning for virksomheter verden over, mens praksisen rundt boligvedlikeholdet er tilsynelatende uendret. Dette på tross av at boligkjøp for de fleste er den største investeringen gjennom livet og dessuten det stedet det tilbringes mest tid.

Fagfeltet boligvedlikehold generelt er et svært omfattende emne og det ble dermed nødvendig å avgrense temaet i dette studiet. Forfatter valgte dermed ut baderommet, som er en konstruksjon ved boliger som erfaringsvis har høy skadefrekvens og risiko for skade. Videre var det ønskelig å finne ut om tilstandsovervåking av fukttilstanden i baderoms konstruksjoner vil være kostnadseffektivt og gjennomførbart gitt den teknologien som finnes i dag.

1.2 Problemstilling

Basert på bakgrunnen i delkapittelet over er følgende problemstilling formulert for denne oppgaven:

«Vil tilstandsovervåkning av fukttilstanden i baderomskonstruksjonen ved norske private boliger være hensiktsmessig?»

Med begrepet hensiktsmessig menes det,

- Er det teknisk gjennomførbart?
- Er det organisatorisk gjennomførbart?
- Oppnår man fordeler som veier høyere enn kostnaden for å utføre vedlikeholdet?

1.3 Oppgavens struktur

Denne masteroppgaven er skrevet som en monografi. Innledningsdelen inneholder en presentasjon av generell bakgrunnsinformasjon om temaet til oppgaven, som er vedlikehold av private boliger. Videre presenteres problemstillingen. Innledningen avsluttes så med oppgavens begrensinger i forhold temaet.

Teori

I teoridelen presenteres forskjellige begreper og teorier som er relevant for problemstillingen. Deriblant generell info om boligvedlikehold, forskjellige vedlikeholdsstrategier, vurdering av tilstandsbasert vedlikehold, svikt og levetidsteori, og til slutt teori om tilstandsovervåkning.

Metode

I metoddelen introduseres de metodene som benyttes for å løse problemstillingen. Det ble initialt gjennomført et omfattende litteratursøk for å samle grunnlaget analysen bygger på.

Videre ble det utført faktiske vurderinger og beregninger til hvorvidt overvåkning av fukttilstanden i baderomskonstruksjoner ville være hensiktsmessig. Det inkluderer

organisatorisk gjennomførbarhetsvurdering, teknisk gjennomførbarhetsvurdering og en kostnytteanalyse. Sistnevnte ble er mest vektlagt i dette studiet.

Analyse

Metodene anvendes.

Resultat og diskusjon

Under resultat inngår en kritisk vurdering av resultatene og metodene fra analysedelen og eventuelle forslag til forbedringer av analysen introduseres.

Konklusjon

Konklusjonen gir en kort oppsummering av resultatene og hva de forteller oss. Forslag til videre arbeid med emnet presenteres.

1.4 Avgrensinger

Denne oppgaven er avgrenset til,

- Å Vurderer tradisjonelle boforhold hvor eier har investert i boligen med den hensikt å bo i den. Dette presiseres av den grunn at en boligeier som har investert i bolig med den hensikt å tjene penger, ikke opererer under samme beslutningskriterier for utførelse av drift og vedlikehold.
- Å hovedsakelig fokusere på eneboliger, men mye av rapportens innhold vil være relevant for leiligheter og eiendomsselskaper.
- Teknikkene for tilstandsovervåkning som vurderes presenteres på et overordnet nivå, forfatter går ikke i dybden på de tekniske egenskapene ved teknikkene.

1.5 Begrep og Forkortelser

Begreper som er sentral for oppgaven presenteres i *Tabell 1: Relevante begreper* og forkortelser benyttet i oppgaven er listet opp nedenfor tabellen.

Tabell 1: Relevante begreper

Begreper	Definisjon
Bygningsskade	En feil på materiale eller utførelse. (Nilsen, Norstein, & H., 2006)
Svikt	Negativt avvik fra det referansenivå som er lagt til grunn. (Norsk Standard, 2012)
Sviktmode	Hvordan en enhet mister evnen til å oppfylle krevd funksjon. (Norsk Standard, 2010)
Symptom	Indikator for hvilken tilstand et objekt befinner seg i. (Norsk Standard, 2012)
Tilstandsbasert vedlikehold	Forebyggende vedlikehold som omfatter en kombinasjon av tilstandsovervåking og/eller inspeksjon og/eller prøving, analyse og påfølgende vedlikeholdstiltak. (Norsk Standard, 2010)
Tilstandsovervåking	Aktivitet som utføres enten manuelt eller automatisk, og som har som formål å måle egenskapene ved og parameterne for enhetens faktiske tilstand med forutbestemte intervaller. (Norsk Standard, 2010)
Utvikling	Utvikling omfatter tiltak som er nødvendig for å opprettholde bygningens bruksmessige verdi over tid. Det vil si endringer som ikke er en følge av slitasje, men endrede krav, enten lovmessige eller brukerdefinerte. (Valen, 2011)
Utviklingskostnader	Kostnader til utvikling av byggverk for å opprettholde dets verdi over tid i forhold til nye krav fra brukere, marked og myndigheter. (Norsk Standard, 2013)
Fukt og vannskade	Med «vannskade» menes skader som skyldes lekkasje gjennom utette konstruksjoner, eksempelvis lekkasje i tak og våtrom. Med «fuktskade» menes skader på grunn av fuktighet i konstruksjoner. Her inngår sopp- og råteskadene og kondensskader. (Takstlovutvalget, 2009)
Vedlikehold	Kombinasjon av alle tekniske, administrative og styringsrelaterte tiltak gjennom livssyklusen til en enhet, som har til hensikt å opprettholde den i eller gjenvinne en tilstand der den kan oppfylle krevd funksjon. (Norsk Standard, 2010)
Vedlikeholdskostnader	Kostnader som er nødvendige for å opprettholde byggverket på et fastsatt kvalitetsnivå og derved gjøre det mulig å bruke det til sitt tiltenkte formål innenfor en gitt brukstid. (Norsk Standard, 2013)
Verdibevarende vedlikehold	Godt, verdibevarende vedlikehold er et uttrykk for et optimalt vedlikehold, hvor arten og omfanget av vedlikeholdet vurderes i et langsiktig økonomisk perspektiv og i forhold til de politiske målene for eiendomsforvaltningen. (NOU, 2004)
Feilrate	Feilrate: Sannsynligheten for at en komponent svikter i løpet av et gitt tidsrom, gitt at komponenten fungerer i utgangspunktet (Rausand & Høyland, 2009)

Forkortelser

CBM	-	Condition based maintenance
FMECA	-	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
FoU	-	Forskning og Utvikling
HMS	-	Helse Miljø og Sikkerhet
HTML	-	Hypertext Markup Language
IAEA	-	International Atomic Energy Agency (Det internasjonale atomenergibyrådet)
KPI	-	Key performance indicator
LCC	-	Life cycle costing
NOU	-	Norges offentlige utredninger
NS	-	Norsk Standard
SSB	-	Statistisk sentralbyrå
TG	-	Tilstandsgrad
TPM	-	Total productive maintenance
TTF	-	Tid til feil
IR	-	Infrarødt
FNH	-	Finansnæringens hovedorganisasjon
DSB	-	Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap
VASK	-	Vannskadestatistikk

2 Teori

Teoridelen introduserer opplysninger som teorier og begreper som er relevant for problemstillingen. Det inkluderer generell informasjon om boligvedlikehold, utviklingen innen industrielt vedlikehold, forskjellige vedlikeholdsstrategier, fremgangsmåte for vurdering av tilstandsbasert vedlikehold, bakgrunnskunnskap om svikt og tekniske levetid og teori om tilstandsovervåkning.

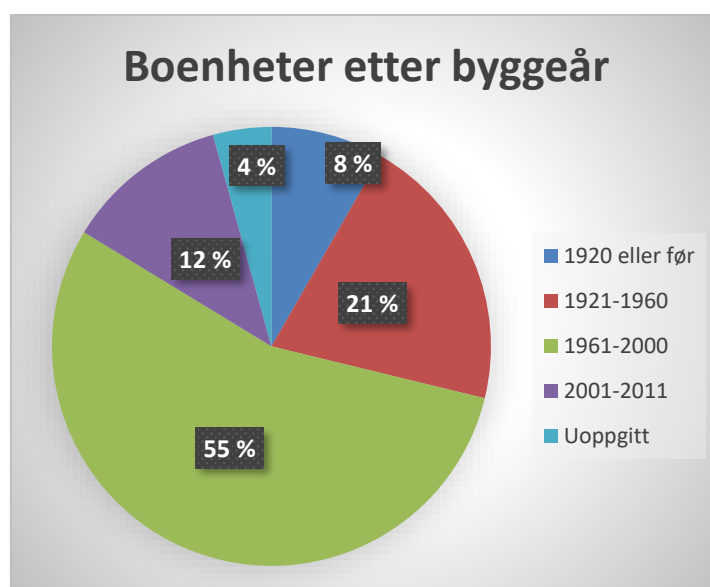
2.1 Generelt om boligvedlikehold og fukt/vannskader

En vedlikeholdspraksis som ser ut til å være relativt utbredt for boliger er å la bygningen forfalle gradvis før deretter å foreta større opprustning eller å vente til det forekommer akutt behov for utbedring. (NOU, 2004) Denne praksisen er overaskende da vi i dag vet at manglende vedlikehold medfører økt risiko for person, helse, materiellskade og utslipp til ytre miljø. Samtidig som det resulterer i høyere totalkostnad for boligdrift og dessuten strider mot norsk lov. Som bygningseier er en lovpålagt å holde egen bolig i forsvarlig stand: *Plan- og bygningsloven § 31-3: Eier eller den ansvarlige plikter å holde byggverk og installasjoner som omfattes av denne lov i en slik stand at det ikke oppstår fare for skade på, eller vesentlig ulempe for person, eiendom eller miljø, og slik at de ikke virker skjemmende i seg selv eller i forhold til omgivelsene.* (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2008) Vedlikehold av bolig er avgjørende for å sikre trygghet og trivsel i hjemmet og for å få til en effektiv styring av privatøkonomien. Vedlikehold defineres i dette studiet som *"kombinasjon av alle tekniske, administrative og styringsrelaterte tiltak gjennom livssyklusen til en enhet, som har til hensikt å opprettholde den i eller gjenvinne en tilstand der den kan oppfylle krevd funksjon"*. (Norsk Standard, 2010)

Dette første kapittelet ser nærmere på den tekniske tilstanden til norske boliger generelt, deriblant boligmassens aldersfordeling, en tilstandsundersøkelse av boligmassen utført av Anticimex og statistikker offentliggjort fra norske forsikringsselskaper. I tillegg introduseres særpreg ved boligvedlikehold som gjør det spesielt utfordrende og avslutningsvis tegn på at emnet har fått økt fokus i senere tid.

2.1.1 Status boligmassen i Norge

Per år 2011 var 1 166 721 av 2 205 191 bebodde boliger i Norge eneboliger, det utgjør 52,9 prosent av de totale boenhetene. Av de 1 166 721 eneboligene er 70,4 prosent selveier alene eller gjennom sameie. Alderen på boenhetene i Norge er svært varierte, 8% ble bygget før 1920, 21% fra 1921 til 1960, 55% fra 1961 til 2000 og 12% fra 2001 til 2011, mens 4% ikke er oppgitt. (SSB, 2016) Ved å studere boligmassens aldersfordeling nærmere ser en hvor lav andel av nye boliger som tilføres hvert år og når en i tillegg vet at boliger har svært lang levetid, er det naturlig å konkludere med at vedlikeholdsbehovet er stadig økende. Boligmassens aldersfordeling er forøvrig illustrert i *figur 1: boenheter etter byggeår*.



Figur 1: Boenheter etter byggeår

Anticimexrapporten

Anticimexrapporten inneholder det eneste kjente offentlig tilgjengelige og tilnærmet representative datamaterialet for teknisk tilstand i norske boliger (Bakke, 2012). Rapporten var basert på ca. 9000 boliger i perioden 2003–2005. Dataunderlaget til rapporten er samlet fra tilstandsanalyser utført av sertifiserte takstmenn ved boenheter lagt for salg i den gitte perioden. Det dreier seg om 6857 eneboliger og 2038 leiligheter (Nilsen, Norstein, & H., 2006). I forbindelse med undersøkelsen valgte Anticimex ut 13 bygningselementer for nærmere ettersyn,

1. Takkonstruksjon
2. Takteking

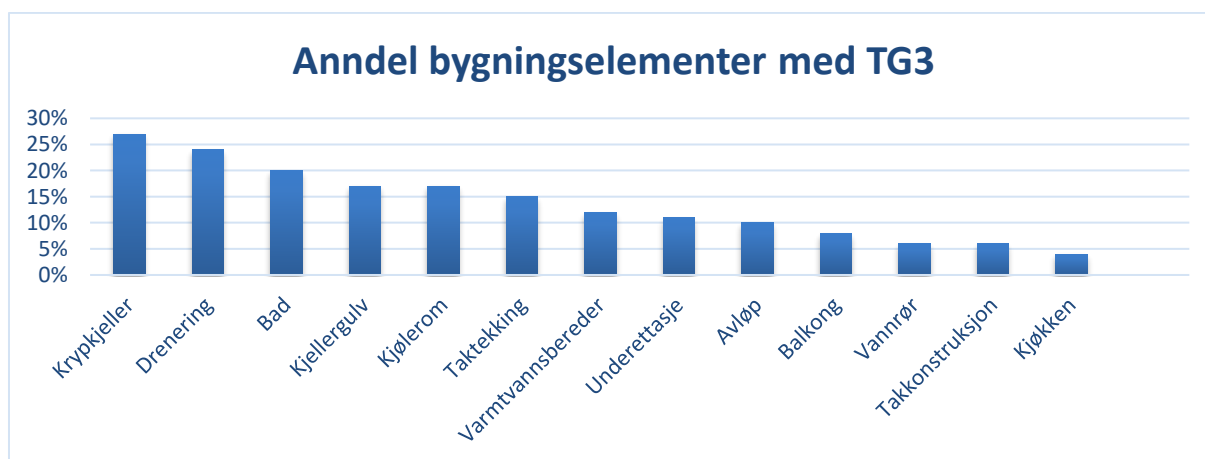
3. Balkonger og terrasser
4. Drenering
5. Sokkel og underetasje
6. Kjellergulv
7. Kryp kjellere
8. Bad
9. Kjøkken
10. Kjølerom
11. Vannrør
12. Avløp
13. Varmtvannsberedere

Videre ble hvert av disse bygningselementene vurdert og kategorisert etter tilstandsgrad. Tilstandsgradskategoriene var definert etter en skala fra null til tre som beskrevet i *Tabell 2: Tilstandsgrader i Anticimexrapporten*.

Tabell 2: Tilstandsgrader i Anticimexrapporten

Betegnelse	Byggeteknisk tilstand
TG0	Tilsier at elementet er dokumentert helt uten slitasje og skadesymptomer. Benyttes i hovedsak når et element er helt nytt
TG1	I god stand uten behov for spesielle tiltak
TG2	Uten større skade, men åpenbart påregnelig med utbedringer innen kortere tid
TG3	I så dårlig stand at strakstiltak er påkrevd

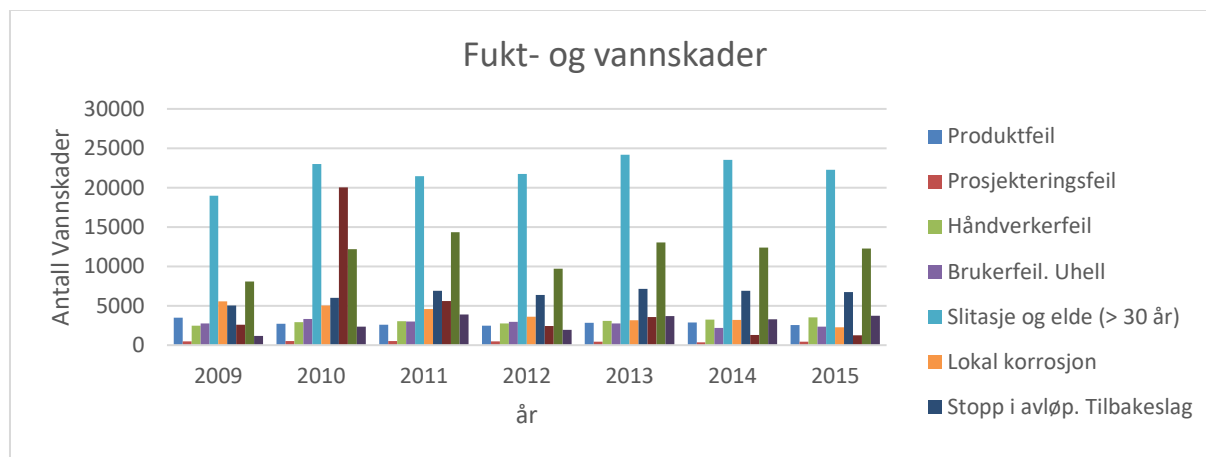
Resultatene var oppsiktsvekkende og beviser et enormt stort vedlikeholdsetterslep på norske boliger. Figur 2: Bygningselementer med TG3 hentet fra Anticimexrapporten, viser fordelingen av bygningselementer kategorisert i tilstandsklassen TG3. Verst tilstand er det på krypkjeller, drenering og badrom hvorav omentrent hver fjerde krypkjeller og drenering har skader og omentrent hvert 5 badrom (Nilsen, Norstein, & H., 2006).



Figur 2: Bygningselementer med TG3, hentet fra Anticimexrapporten (Nilsen, Norstein, & H., 2006)

Forsikringsdata

Offentlige opplysninger fra forsikringsselskapene gir en god oversikt over hvilke skader som kan forekomme i boliger, og kan videre benyttes som grunnlag for å vurdere hvilke vedlikehold som bør prioriteres. Skadeopplysninger registreres hos forsikringsselskaper som henholdsvis vannskader, brannskader eller naturskader. Naturskadestatistikken anses ikke som relevant i vedlikeholdssammenheng, da disse skadene oppstår som følge av ukontrollerbare naturfenomener som storm, skred, flom og lignende. Brannskader er interessante da mange boligbranner trolig kan forhindres ved optimalisert vedlikeholdsstyring, men vurderes ikke som en del av denne oppgaven. Fokuset for oppgaven er som nevnt innledningsvis fukt- og vannskader. Oversikt over fukt- og vannskader illustreres i *Figur 3: vannskader i norske boliger*. Opplysningene er hentet fra Finans Norges skadestatistikkdatabase. Finans Norge samler opplysninger fra alle de største forsikringsselskapene i Norge og dekker til sammen 85 % av det norske markedet (VASK, 2016). Statistikkene de presenterer er beregnede verdier som er tilpasset for å være representative for det totale skadebildet for hele landet.



Figur 3: Fukt- og vannskader i norske boliger

Fra søylediagrammet over fukt- og vannskader fordelt etter skadeårsak i perioden 2009 til 2015 er det tydelig slitasje og elde som er største årsak til vannskader, videre er håndverkerfeil relativt utbredt. Ved korrekt utført vedlikehold vil flere av disse kunne unngås, og dermed være kostnadsbesparende for samfunnet.

Ulempene ved skadestatistikken fra Finans Norge er at den bare inkluderer skader rapportert til forsikringsselskapet og inkluderer dermed ikke skader som utbedres på egenhånd, eller skader som ikke oppdages av beboerne. For å få et innblikk i de skjulte skadene var det interessant å se til forskjellige tvistårsaker som følge av boligsalg. Regjeringen satte i 2007 et takstlovutvalg ansvarlig for utredning om anvendelse av tilstandsrapport ved salg av bolig. I forbindelse med utredningen fikk utvalget opplyst hyppigste tvistårsaker registrert i eierskifteforsikring hos henholdsvis Norwegian Broker AS, Protector forsikring og Anticimex (NOU, 2009),

Fra Norwegian Broker AS fikk utvalget opplyst at bad/våtromsrelaterte forhold hadde størst andel av årsaker til tvist med 30 %. På delt andreplass var problemer relatert til sopp/råte eller drenering. Se *Tabell 3: Tvistårsaker fra Norwegian Broker AS*.

Tabell 3: Tvistårsaker fra Norwegian Broker AS

Årsak til tvist	Prosent
Bad/våtrom:	30 %
Sopp/råte:	20 %
Drenering:	20 %
Lekkasje tak (oftest pipehatt):	15 %
Selgers/takstmanns feilaktige opplysninger:	10 %
Diverse:	5 %

Fra Protector forsikring fikk utvalget opplyst at vannskade var vanligst, med 27,1% og fuktskade på andreplass med 23,6%. Se *Tabell 4: Tvistårsaker Protector forsikring*.

Tabell 4: Tvistårsaker fra Protector forsikring

Årsak til tvist	Prosent
Vannskade:	27,1 %
Fuktskade:	23,6 %
Andre skadetyper:	17,0 %
Konstruksjon:	11,1 %
Elektrisk anlegg:	10,2 %
Skadedyr/insekter:	3,4 %
Oppvarming, ikke elektrisk:	3,0 %
Rettsmangel:	1,7 %
Forurensning:	1,5 %
Arealsvikt:	1,4 %

Mens fra Anticimex forsikring fikk de opplyst reklamasjonsårsakene etter kronologisk rekkefølge sortert etter hyppighet. Hyppigst forekomst hadde feil og skader ved baderommet.

Se *Tabell 5: Tvistårsaker Anticimex forsikring*.

Tabell 5: Tvistårsaker fra Anticimex forsikring

Nummer	Årsak til tvist
1	Feil og skader ved bad
2	Feilaktige opplysninger og tilbakeholdte opplysninger
3	Taklekkasjer
4	Drenering med følgeskade (innredede kjellere) (herunder sopp og råte)
5	Loft/takkonstruksjon (kondens, konstruksjon)
6	Terrasser/balkonger (lekkasje, råteskade)
7	Råteskade ellers (yttervegger og krypkjellere)
8	Byggefeil (el-anlegg, ventilasjonsanlegg m.v.)
9	Areal
10	Manglende offentlig godkjenning

Sammenlignes tvistårsakene fra de tre forskningsselskapene er det et tydelig mønster. Det fremkommer at majoriteten av tvistene kan forbindes med fukt- og vannskader i henholdsvis våtrom, tak og drenering.

2.1.2 Helseeffekt ved eksponering av fukt og råte

Fukt og fuktskader i bygninger har vært kjent som risikofaktor for helse i mer enn 3000 år. (Bakke, 2012) Delkapittelet ovenfor indikerte at svært mange eksponeres for fukt og råte i hjemmene sine og at det er utfordrende å estimere nøyaktig hvor stor andel av norske boliger som har fuktskader. Der er flere av undesøkelsene tilgjengelige i litteraturen som har forsøkt å kartlegge dette basert på spørreundersøkelser. For eksempel SSB sin årlige levekårsundersøkelse som for 2015 oppga at 7% av befolkningen bor i boliger med fukt og/eller råte (SSB, 2016). Denne typen estimer er lite troverdig på grunn av at fukt/råteskader ikke alltid vil være merkbar for menneskelige sanser og dermed ikke kjent for beboerne. Et mer troverdig estimat er gjort i en rapport om fuktskader utgitt av arbeidstilsynet hvor de baserer estimatet på dataunderlag fra Anticimexrapporten. «*Anticimexrapportens format gjør at en ikke kan lese av direkte statistikk for fuktskader i norske boliger, men at 50% ikke et urimelig estimat*» (Bakke, 2012). Statistikken er oppsiktsvekkende da en rekke studier beviser sammenhenger mellom fukt/mugg og helseutfall som astma, allergi, eksem og infeksjoner i øvre og nedre luftveier (Fisk, Eliseeva, & Mendell, 2010), (Norback, et al., 2011),

(Simoni, et al., 2005) og at sannsynligheten for helseplager som følge av jevnlig eksponering for fukt og mugg grovt estimert øker med omentrent 50% (Fisk, Eliseeva, & Mendell, 2010).

Til tross for at det er en allmenn enighet om at fukt og råte har en negativ effekt på helsen, er det ikke enighet om hva som utløser det og eller hvordan. Nasjonalt folkehelseinstitutt har utarbeidet anbefalte retningslinjer for inneklime (Folkehelseinstituttet, 2015). Det fremkommer i retningslinjene at det med dagens kunnskap ikke kan settes grenseverdi for verken muggsopp eller bakterieforekomst. Dette begrunnes ved at det er for stor usikkerhet knyttet til hvordan mennesker påvirkes av muggsopp i innelufta. Folkehelseinstituttet presenterer forøvrig generelle retningslinjer,

- Fukt og råteskade skal ikke forekomme
- Synlig mugg og mugglukt skal ikke forekomme

2.1.3 Steg i riktig retning

En av regjeringens seneste tiltak for å sikre trygge rammer rundt bolighandel ved salg av bolig, er å standardisere bruk av tilstandsanalyse. Dette kan tolkes som et steg i riktig retning for å tvinge frem en mer bevist holdning til vedlikehold og teknisk tilstand av bolig. I forbindelse med arbeidet nedsatte regjeringen i 2007 et boligtakstutvalg for å gjøre en utredning av bruk av tilstandsrapport ved salg av bolig. (NOU, 2009) Som en del av konklusjonen i utredningen inngikk en anbefaling om at tilstandsrapport ved salg av bolig skulle være obligatorisk, dette forslaget stilte eiendomsmegler-organisasjonen Eiendom Norge seg bak. Det ble så utviklet en standard for rammeverket til tilstandsanalysen, samt utforming av tilstandsrapporten (Norsk Standard, 2014). Rent konkret ble det foreslått at rapporten skulle være obligatorisk fra 01.01.2015 og at prisen for tilstandsanalysen ville komme på rundt 20 000kr og skulle dekkes av selger. Forslaget ble imidlertid stanset av finanstillsynet som begrunnet det med at påtvunget tilstandsrapport ville stride med «god meglerskikk». (Bellamy, 2014) Praksisen per i dag er at eiendomsmeglerne oppfordrer til bruk av tilstandsrapport. Dette har medført at manglende vedlikehold nå blir mer tydelig, dersom boligen skal ut for salg.

2.1.4 Særpreget ved boligvedlikehold

Boligvedlikehold har en rekke særpreget ved seg. Det mest åpenbare er den store variasjonen av kunnskap og interesse for vedlikehold blant boligeiere. Mange er ikke klar over hvilke positive

effekter som kan oppnås med korrekt vedlikehold, eller hvilke negative effekter som kan oppstå som følge av manglende vedlikehold.

Videre er boligens tekniske utforming svært varierende fra en bolig til en annen. Det at boliger har så lang levetid medfører at boligeiere ofte må gjøre forandringer på boligens tekniske utforming for å tilpasse den nye behov, modernisere eller vedlikeholde den. Dette i kombinasjon med at den byggetekniske utviklingen er under stadig forandring for å tilfredsstille nye krav eller ta i bruk nye materialer og løsninger, gjør omtrent hver bolig unik. Med det kan usikkerhetsmomenter som gjør det utfordrende å drive effektivt vedlikehold av boliger oppsummeres som, (Lind & Muyingo, 2012),

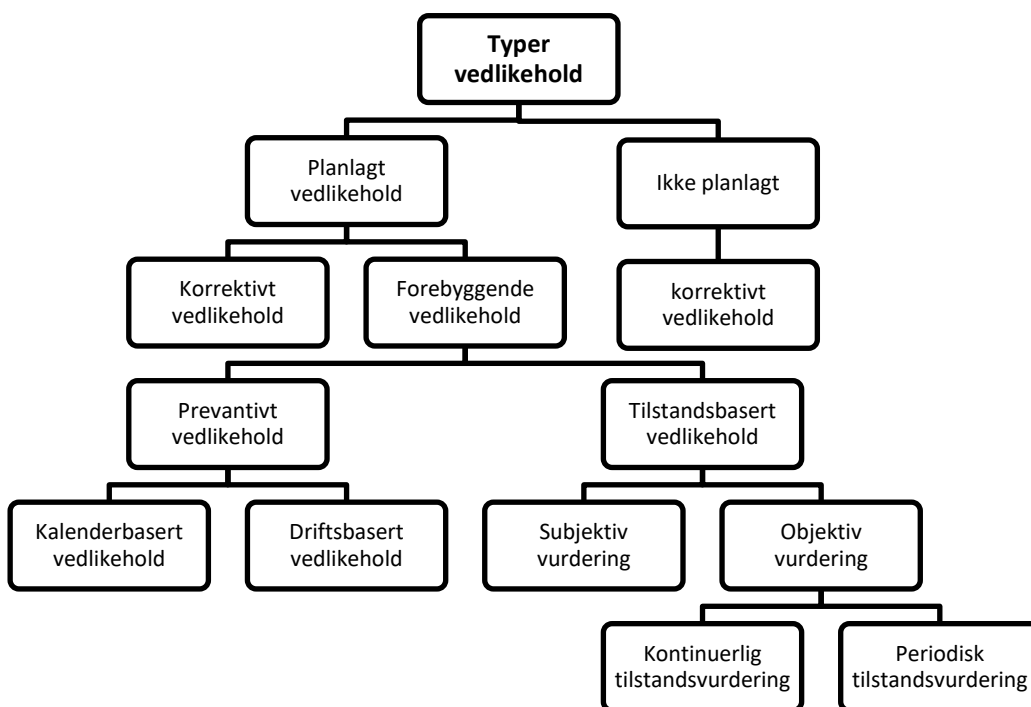
- Manglende informasjon om strukturen til bygningen. Det kan ha vært gjort vedlikehold eller ombygninger på deler av strukturen som ikke er dokumentert.
- Det kan være utfordrende å forutse forventet levetid for komponenter. Nedbrytningsprosessen er avhengig av en rekke faktorer som materialer og komponenter, utforming, arbeidsutførelse, vedlikehold, bruk, ytre miljø / klima og indre miljø. (ISO, 2011). Dette gjør det utfordrende å estimere en feilrate som skal bestemme frekvensen for vedlikeholdet.
- Det kan være utfordrende å forutse kostnaden av konkrete vedlikeholdstiltak. Stadig teknologiutvikling og naturlige svingninger i pris av produkter og tjenester gjør det utfordrende å forutse kostnaden av vedlikeholdstiltak.
- Det kan være utfordrende å vurdere verdien av å utsette vedlikeholdsaktiviteten. I situasjoner med høy usikkerhet kan det være attraktivt å utsette en aktivitet frem til usikkerheten er redusert. Det kan for eksempel være i situasjoner hvor en ny teknologi er introdusert til markedet og det er uklarheter rundt effekten av teknologien eller kostnadsnivået til teknologien.

2.2 Vedlikeholdsstrategier

Som en del av å praktisere god vedlikeholdsstyring er det nødvendig å definere en vedlikeholdsstrategi for de systemene og komponentene som skal vedlikeholdes. Dette gjelder også for boligvedlikehold. Strategien skal gi retningslinjer for hvordan vedlikeholdet skal utføres. Det finnes flere typer vedlikehold og disse kan kategoriseres etter følgende forhold,

- Er vedlikeholdet planlagt eller ikke planlagt?
- Hvis planlagt, er det forebyggende eller korrektivt?
- Hvis forebyggende, er det preventivt eller tilstandsbasert?
- Hvis preventivt, er det kalenderbasert eller driftsbasert?
- Hvis tilstandsbasert, vurderes det subjektivt eller objektivt?
- Hvis objektivt, vurderes tilstanden kontinuerlig eller periodisk?

Hierarkiet mellom forskjellige typer vedlikehold kan illustreres som vist i *Figur 4: Typer vedlikehold* og består hovedsakelig av korrektivt, preventivt og tilstandsbasert Vedlikehold. Fordeler og ulemper med de forskjellige typene diskuteres nedenfor figuren.



Figur 4: Typer vedlikehold, tilpasset fra (Syre, 2009)

2.2.1 Korrektivt vedlikehold

Korrektivt vedlikehold er det enkleste vedlikeholdsstrategien, den går utpå at ingen vedlikehold utføres før en bygningskomponent eller et system svikter/nedbrytes. Denne typen vedlikehold vil normalt ikke være det beste alternativet med hensyn til økonomi eller HMS. Det er to hovedårsaker til at denne vedlikeholdstypen kan bli svært kostbar (Horner, El-Haram, & Munns, 1997),

- 1) Svikt i en komponent eller et system i bygningen kan gi følgefeil eller være utløsende faktor for svikt i nærliggende systemer i bygningen. For eksempel kan lekkasje fra rør gi vannskade i området rundt lekkasjen.
- 2) Svikt i en komponent eller et system kan oppstå ved et tidspunkt som er svært upassende. For eksempel under fellesferie, hvor det kan være vanskelig å få tak i leverandører til å utbedre svikten.

Fordelene med korrektivt vedlikehold er at det kan være kostnadseffektivt for ikke-kritiske og ikke-reparerbare komponenter eller systemer (Kumar & Kumar, 2004). Historisk sett har korrektivt vedlikehold gitt nyttige erfaringer og lærdom angående sviktutviklingen for et system eller en komponent, da det blir tydelig hva som svikter og hvor fort det skjer.

2.2.2 Preventivt vedlikehold

Som et svar på ulempene med korrektivt vedlikehold ble preventivt vedlikehold introdusert. Preventivt vedlikehold sikter mot å redusere sannsynligheten for at feil oppstår og å forhindre uforutsette hendelser. Strategien praktiseres ved at vedlikeholdsaktiviteten utføres i faste frekvenser uavhengig av faktisk tilstand eller lokale forhold. Frekvensene kan være kalenderstyrt eller operasjonsstyrt. Normalt opplyser leverandører om anbefalte frekvenser for vedlikeholdet. Fordelene med preventivt vedlikehold er at, (Raymond & Joan, 1991)

- Vedlikeholdet kan planlegges i forkant, og utføres når det passer best
- Potensielle følgeskader forhindres
- Nedetiden minimeres som følge av at sannsynligheten for uforutsette hendelser reduseres
- Helsemessig og sikkerhetsmessig tilstand for beboerne forbedres

Ulempene er at vedlikeholdet kan utføres for sent eller for tidlig. Når vedlikeholdsaktiviteter utføres i faste frekvenser utføres de ofte for tidlig, da det ikke tas høyde for lokale forhold som klima, lite bruk osv. En av grunnene til at vedlikeholdet ofte utføres for tidlig ved preventivt vedlikehold er at leverandørene i mange tilfeller setter vedlikeholdsfrekvens bevisst for tidlig, for å forsikre at det ikke forekommer feil på deres produkt (Lind & Muyingo, 2012). Et annet problem med å utføre vedlikeholdsaktiviteter for ofte er at komponentens tilstand kan ende opp i dårligere forfatning enn den hadde i utgangspunktet, som følge av menneskelige feil ved gjennomføring av vedlikeholdsaktiviteten.

Dersom vedlikeholdsaktiviteten utføres for sent kan det medføre manglende tid til planlegging for utbedring og/eller følgeskade til omkringliggende komponenter. En vanlig årsak til at vedlikeholdsaktiviteten utføres for sent er at lokale forhold kan ha medført en raskere nedbrytningsprosess enn det som var antatt når vedlikeholdsaktiviteten ble planlagt.

2.2.3 Tilstandsbasert vedlikehold

Tilstandsbasert vedlikeholdsstrategi bygger på at vedlikehold utføres når systemets eller komponentens tilstand tilsier at det er behov for det. Metoden beskrives nærmere i kapittel 2.6 *Tilstandsovervåkning*. I dette kapittelet presenteres fordeler og potensielle utfordringer/ulempene punktvis. Potensielle fordeler ved korrekt anvendt tilstandsbasert vedlikehold, kombinerer fordelene med korrektivt og preventivt vedlikehold i tillegg til å tilføye flere,

- Det tilrettelegges for bedre planlegging av vedlikeholdsaktiviteter
- En unngår uforutsette svikt og fordyrende følgefeil
- En forbedrer vedlikeholdselementets pålitelighet
- Behovet for reservedeler reduseres som følge av at tilstanden for vedlikeholdsobjektet er kjent
- Redusere risiko for negative helseeffekter, personskaade og miljøutslipp
- En unngår unødvendige vedlikeholdsaktiviteter

Ulemper og utfordringer med tilstandsbasert vedlikehold er at det sammenlignet med korrektivt og preventivt vedlikehold ofte,

- Er komplisert å implementere
- Gir høy investeringskostnad
- Krever spesialkompetanse om overvåkingsobjekt og overvåkings metodikk
- Introduseres flere instrumenter som kan trenge oppfølging
- Stilles større krav til databehandling
- Kan bli nødvendig med outsourcing (utkontraktering)

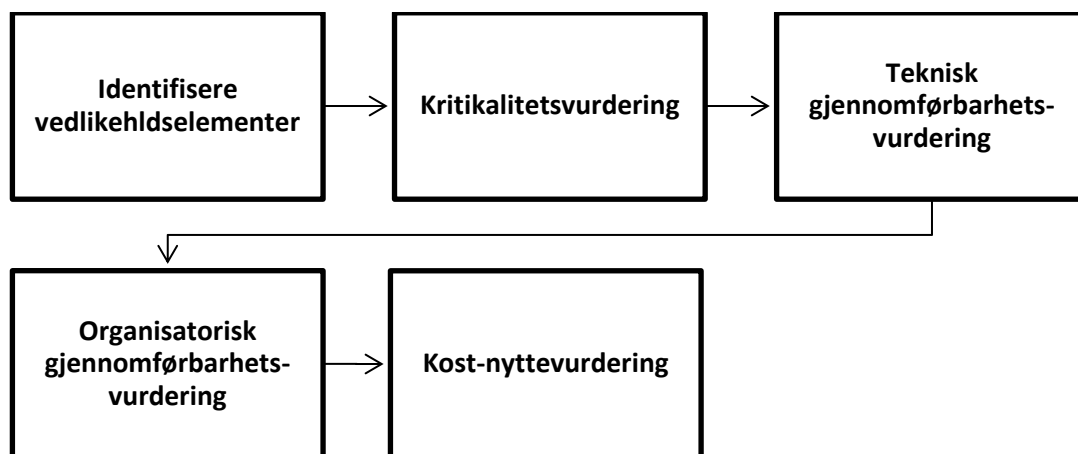
Andre faktorer som må være på plass for at tilstandsbasert vedlikehold skal være gjennomførbart, er at det må være en gradvis sviktutvikling, en identifiserbar sviktprosess og det må være mulig å overvåke parametere som er relevant for tilstanden. (Lind & Muyingo, 2012)

2.3 Vurdering av tilstandsbasert vedlikeholdsstrategi

Hvilken vedlikeholdsstrategi som er optimal varierer basert på preferansen til beslutningstaker. Typiske faktorer som danner grunnlag for avgjørelsen er beslutningstakers mål med vedlikeholdsobjektet. Det kan for eksempel være profittmaksimering, maksimere kost-nytte ratioen eller å minimere investeringskostnadene. (AHMADI, GUPTA, KARIM, & KUMAR, 2010). Hvordan beslutningsfaktorene vektet mot hverandre er situasjonsbestemt. For en virksomhet med langsiktig perspektiv vil tilstandsbasert vedlikehold i de fleste tilfeller være den foretrukne strategien. Det er likevel vanlig at korrektivt, preventivt og tilstandsbasert vedlikehold kombineres for å optimalisere vedlikeholdet. Dette er det flere grunner til, (Horner, El-Haram, & Munns, 1997)

- Ikke alle komponenter er kritiske
- Ikke alle kritiske komponenters tilstand kan overvåkes
- Det finnes ikke alltid en passende metode for tilstandsovervåkning
- Anvendelse av identifiserte metoder for tilstandsovervåkning er ikke alltid kostnadseffektive

Det å effektivt kombinere flere strategier medfører at det blir nødvendig med en systematisk fremgangsmåte for å definere en overordnet vedlikeholdsplan for vedlikeholdsobjektet. For å identifisere de vedlikeholdselementer som er passende for tilstandsbasert vedlikehold, vil det være naturlig å følge en stegvis prosess som involverer: identifikasjon av alle vedlikeholdselementer, kritikalitetsvurdering, teknisk gjennomførbarhetsvurdering, organisatorisk gjennomførbarhetsvurdering og kost-nyttevurdering. Se prosessillustrasjon i *Figur 5: Prosess for å validere kandidater for tilstandsbasert vedlikehold* og påfølgende forklaring av stegene nedenfor figuren.



Figur 5: Prosess for å identifisere kandidater for tilstandsbasert vedlikehold

2.3.1 Identifisere vedlikeholdselementer

For å få en helhetlig vedlikeholdsstyring er det nødvendig å kartlegge hvilke bygningselementer som utgjør det totale vedlikeholdsobjektet. Bygningselementene kan så kategoriseres etter funksjonalitet, da utstyr som har samme funksjonalitet ofte har samme sviktmoder og dermed kan vedlikeholdes på samme måte. På denne måten kan en spare tid og ressurser på å vurdere den tekniske gjennomførbarheten for flere vedlikeholdselementer samtidig. (Milje, 2011) Det er for bygg utviklet en standard bygningstabell som standardiserer inndeling av bygnings- og installasjonsdeler. Bygningstabellen er bygd opp med tre nivåer med økende detaljeringsnivå fra en til tre. *Tabell 6: Kategorisering av bygningselementer* viser inndeling av hoveddeler på 2-sifret nivå (Norsk Standard, 2009).

Tabell 6: Kategorisering av bygningselementer, hentet fra (Norsk Standard, 2009)

1-sifret bygningsdelsnummer	2-sifret bygningsdelsnummer
2 Bygning	20 Bygning, generelt 21 Grunn og fundamenter 22 Bæresystemer 23 Yttervegger 24 Innervegger 25 Dekker 26 Yttertak 27 Fast inventar 28 Trapper, balkonger, m.m. 29 Andre bygningsmessige deler
3 VVS-installasjoner	30 VVS-installasjoner, generelt 31 Sanitær 32 Varme 33 Brannsløkking 34 Gass og trykkluft 35 Proseskjøling 36 Luftbehandling 37 Komfortkjøling 38 Vannbehandling 39 Andre VVS-installasjoner
4 Elkraft	40 Elkraft, generelt 41 Basisinstallasjon for elkraft 42 Høyspent forsyning 43 Lavspent forsyning 44 Lys 45 Elvarme 46 Reservekraft 47 Skal ikke benyttes 48 Skal ikke benyttes 49 Andre elkraftinstallasjoner

(fortsettes)

2.3.2 Kritikalitetsanalyse

En av de viktigste stegene når en skal vurdere passende vedlikeholdsstrategi til et vedlikeholdselement er å kartlegge kritikaliteten til analyseobjektet. Blant ingeniører er det vanlig å benytte FMECA metodikk som verktøy for å utføre en kritikalitetsvurdering. Kort beskrevet utføres en FMECA ved å samle en gruppe spesialister for en systematisk gjennomgang av alle komponenter som utgjør et analyseobjekt. Hele analyseobjektet vurderes system for system. Hovedfunksjonen til et system defineres først, deretter alle delfunksjoner med tilhørende komponenter. Når alle komponenter er klassifisert etter funksjon, defineres sviktmodene til funksjonene. For hver sviktmode defineres potensielle konsekvenser med tilhørende sannsynlighet for forekomst (NORSOK, 2011). Konsekvensene klassifiseres som oftest etter tre forskjellige forhold (Holmberg, et al., 2010),

- 1) HMS
- 2) Kostnad
- 3) Nedetid/produksjonstap

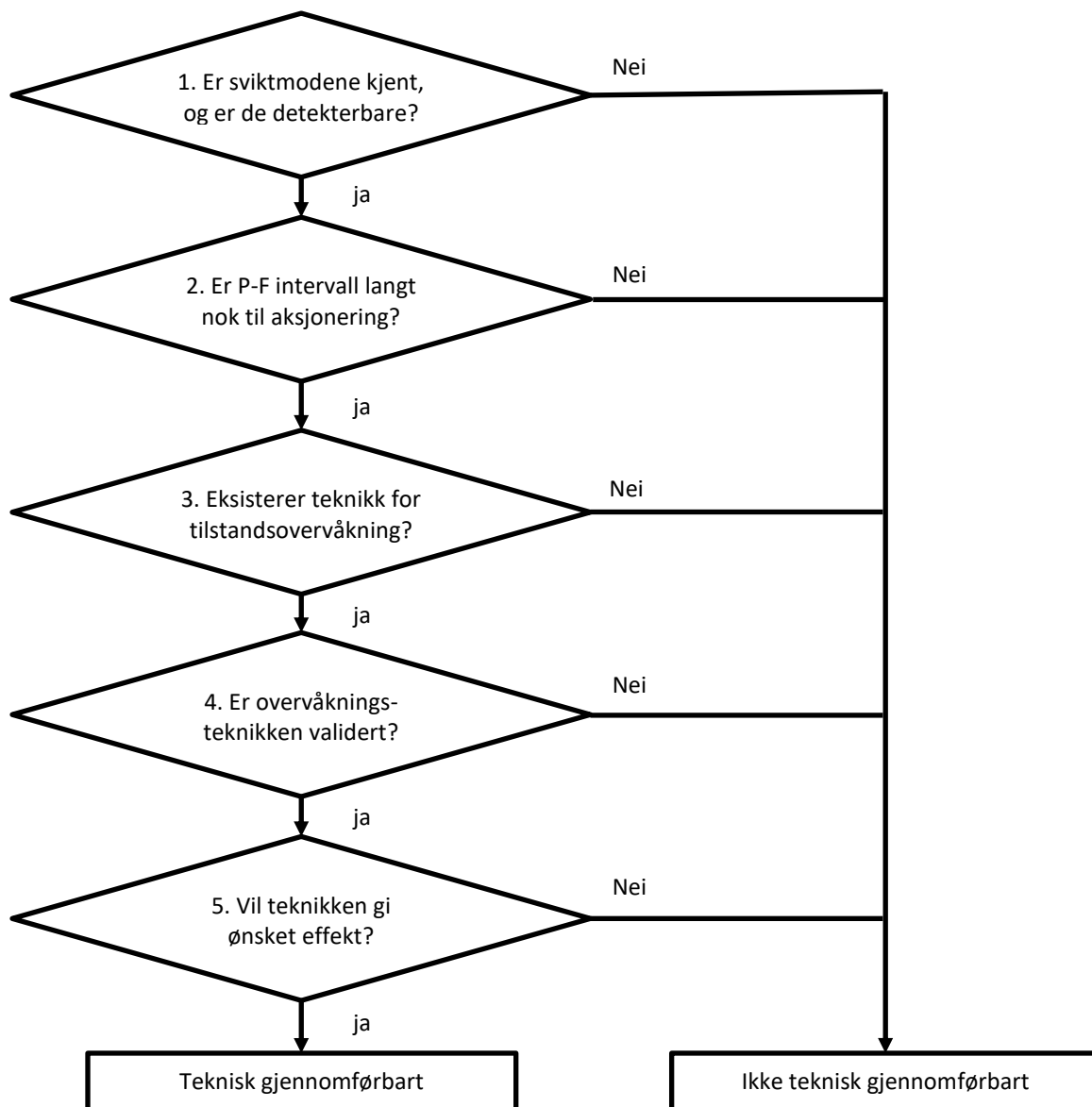
Av disse anses HMS og kostnad som mest relevant for boliger,

- En komponent er HMS-kritisk dersom potensiell svikt vil kunne påføre personskade eller negativ helseeffekt for personer, eller miljøutslipp som er utenfor det loven tillater.
- En komponent er kostnadskritisk dersom kostnaden av vedlikeholdet er lavere enn kostnaden ved potensiell svikt. (Horner, El-Haram, & Munns, 1997)

Ved å følge en slik prosess får en også oversikt over de sviktmodene som ikke dekkes av tilstandsovervåkningsmetoden og det kan dermed planlegges andre vedlikeholdsaktiviteter for disse sviktmodene.

2.3.3 Teknisk gjennomførbarhet

Basert på kritikalitetsvurderingen skal det være tydelig hvilke systemer og komponenter som anses som kritisk og dermed mest aktuelle kandidater for tilstandsbasert vedlikehold. I neste steg vurderes teknisk gjennomførbarhet for hvert kritiske vedlikeholdselement. Det kan være en kompleks oppgave, men en noe forenklet prosess introduseres i *Figur 6: Teknisk gjennomførbarhetsvurdering* og hver forutsetning utdypes nedenfor figuren.



Figur 6: Teknisk gjennomførbarhetsvurdering, tilpasset fra (Milje, 2011) og oversatt til norsk

1. Sviktmodene gjøres kjent som en del av kritikalitetsvurderingen for et gitt system. I industriell sammenheng er det ikke uvanlig at kritikalitetsvurderingen utføres av utstysleverandører og kan medfølge leveransen, i så tilfelle bør en huske på å ta høyde for lokale tilpasninger som f. eks klimatiske forhold. Kritikalitetsvurderingen er også ventet å gi verdifull innsikt til hvorvidt det vil være parametere tilgjengelig som vil være hensiktsmessige å overvåke for å kunne si noe om den tekniske tilstanden.
2. I neste steg vurderes det om P-F intervallet vil være langt nok til å og implementere vedlikeholdstiltak. Begrepet P-F intervallet forklares nærmere i kapittel 2.5.1 *P-F intervall*. Intervallet beregnes ofte basert på erfaringsdata eller ingeniørbedømmelse. Utstysleverandørene vil i de fleste tilfeller kunne bistå med grunnleggende informasjon angående hvor raskt svikten er ventet å utvikle seg.
3. Når det skal vurderes om det eksisterer tilgjengelige tilstandsovervåkningsteknikker må en samle informasjon om hvilke alternativer som er på markedet. Nye teknikker introduseres fortløpende, det vil derfor være hensiktsmessig å se til forskning og utviklingsaktiviteter i gjeldende fagfelt. Underlaget for å verifisere tilstandsovervåkningsteknikker bør baseres på ingeniørbedømmelse og erfaringsdata.
4. Det kan være vanskelig å vurdere om en tilstandsovervåkningsteknikk er pålitelig nok da fagfeltet er relativt nytt, og som nevnt introduseres nye teknikker fortløpende. Det er derfor viktig å være kritisk til å implementere innovative overvåkningsteknikker som ikke er utprøvd med dokumenterte resultater. Verifikasjonen av tilstandsovervåkningsteknikkene bør baseres på tidligere erfaringer og ingeniørbedømmelse i tillegg til en liste over alle alternative overvåkningsteknikker.
5. Det må gjøres en vurdering av hvorvidt implementering av identifisert teknikk vil gi ventet resultat. Leverandørene av tilstandsovervåkningssystemer har en egen agenda når tilstandsovervåkningsteknikker presenteres, nemlig salg. En bør derfor vurdere tilstandsovervåkningsteknikkenes effekt både på generell basis, men også i forhold til særtrekk ved gjeldende analyseobjekt. Det er som kjent flere lokale forhold som kan spille

inn, for eksempel kan høy luftfuktighet ute i det fri gi utslag dersom overvåkningsteknikken som praktiseres er måling av relativ luftfuktighet i en bygningsdel innendørs.

2.3.4 Organisatorisk gjennomførbarhet

I likhet med at det eksisterer tekniske forutsetninger er det også organisatoriske forutsetninger for at en gitt tilstandsovervåkningsteknikk skal være anvendbar. *Kapittel 2.3 Vedlikeholdsstrategier* påpekte fordeler og ulemper/utfordringer med tilstandsbasert vedlikehold og der kommer det frem at det stilles betydelige krav til organisasjonen. Det må være en fleksibel organisasjonsstruktur hvor det er dedikerte ressurser med eierskap til tilstandsovervåkingen. Det må forventes at organisasjonen legger til rette for å raskt tilpasse seg en tilstandforandring, og igangsetter nødvendige vedlikeholdstiltak. Det er essensielt at ressursene dedikert til tilstandsovervåkingen har den opplæringen og kompetansen som er nødvendig. (IAEA, 2007) Korrekt utført tilstandsovervåking er i de fleste tilfeller ventet å redusere den totale mengden vedlikeholdsarbeid, men dette er ikke alltid tilfellet. Ved å introdusere nye instrumenter oppstår det ofte nye oppgaver som f. eks batteribytte i sensorer, oppgradering av programvarer, inspeksjonsrunder, o.l.

En bolig som driftes med boligformål skiller seg stort fra industrielle virksomheter. Det kan ikke forventes at boligeiere har fokus, kompetanse eller ressurser til å følge opp vedlikehold i like stor grad som en bedrift. Det vil derfor være nødvendig at de fleste aktiviteter relatert til tilstandsovervåkingen, deriblant installasjonen, monitoreringen og datatolkningen foregår automatisk eller outsources til eksperter.

2.3.5 Kost-nyttevurdering

Kost-nytte analyse er et beslutningsverktøy som brukes for å systematisere ulike fordeler og ulemper ved ulike løsninger og tiltak. Verktøyet kan være nyttig både for å vurdere en situasjon alene, og for å sammenligne ulike alternativer med hverandre. Det er dermed svært egnet for å vurdere tilstandsovervåkningsteknikker. Rao, B. har uttalt «*Vi må vurdere kostnaden av ikke å investere i denne potensielt fordelaktige teknologien*» (Rao B. , 1996) Fremgangsmåten for utførelse av kost-nyttevurdering kan variere stort fra bransje til bransje og fra bedrift til bedrift. Den generiske fremgangsmåten er likevel forholdsvis lik og består av en stegvis prosess som opplistet nedenfor (Boardman, 2006). Under listen følger en beskrivelse av hvordan hvert steg på en god måte kan tilpasses vurdering av tilstandsbasert vedlikehold.

- List opp aktuelle løsninger/tiltak
- Kartlegg interessenter
- Velg hvilke parametere som bør inngå i vurderingen
- Konverter alle kostnader og nytteaspekter til samme enhet (som oftest pengeverdi)
- Estimer utfallet av kostnadene og nytteaspektene relatert til løsningen/tiltakene over den angitte tidsperiode
- Anvend kalkulasjonsrente
- Kalkuler NPV for hver aktuelle løsning/tiltak
- Utfør sensitivitetsanalyse
- Ta en beslutning

Alternative vedlikeholdsteknikker

Når en skal vurdere om en gitt vedlikeholdsteknikk er optimal må denne vurderes i forhold til alternativene. Alternativer som ser ut til å være relativt utbredt for bygninger er å la bygningen forfalle gradvis for deretter å foreta større opprustning eller å vente til det forekommer akutt behov for utbedring. (NOU, 2004). Listen over alternativer bør inneholde vedlikeholdsstrategier som korrektivt og preventivt vedlikehold, samt alternative tilstandsovervåkningsmetoder.

Liste over interessenter

Som en del av å vurdere tilstandsovervåkning som verktøy for å optimalisere vedlikeholdet av private boliger, er det interessant å se nærmere på hvem som påvirkes av godt bevarte boliger. Interessentanalyse er et verktøy ofte brukt av prosjektledere for å få oversikt over hvilke aktører som påvirkes og/eller kan påvirke prosjektet. Det er i de senere årene forsket på bruk av interessentanalyse spesifikt for innovative prosjekter. Blant annet «Stakeholder identification in innovation projects» (Vos & Achterkamp, 2006) og «A model to evaluate stakeholder dynamics during innovation implementation» (Groen & Krabbendam, 2012). Interessentanalyse kan avdekke avgjørende forhold som er sentrale når beslutningen skal tas.

Valg av parametere til vurderingen

Ideelt sett skal alle kostnads- og nytteparametere tas med i vurderingen. Det er likevel vanlig at parameterutvalget begrenses på grunn av manglende tilgang til data. (Mostue, 2008) Dersom en kostnadsparameter utelattes fra analysen må dette belyses godt i rapporten fra arbeidet. Nedenfor er en presenteres en liste over parametere som kan være aktuelle for kostnads- og nyttevurderinger for vedlikeholdstiltak. Hvilke parametere som bør beregnes avhenger av kritikaliteten til bygningselementet eller utstyret som vurderes i analysen.

Kostnader:

- Redusert helse
- Tap av menneskeliv eller personskade
- Materiell skade
- Anskaffelse av tilstandsovervåkningsutstyr
- Planlagt vedlikehold eller akutt vedlikehold

Nytte:

- Redusert sviktrate
- Redusert forekomst av akutt vedlikehold mot at sviktmoden detekteres og kan behandles som planlagt vedlikehold
- Forlenget levetid av bygningselementet eller systemet som vurderes

Konvertere verdiene til samme enhet

For at parameterne skal være sammenlignbare konverteres alle verdiene til samme enhet. Det vanligste er å benytte pengeverdi, da det allerede er enheten til de fleste parameterne. Mange stiller seg kritiske til en transformasjon av verdier til penger i kost-nyttesammenheng og argumenterer for at det tar fokuset bort fra viktige faktorer knyttet til menneske, miljø, virksomhet og samfunn (Aven, 2004). Der faktorer innehar urettmessig høy usikkerhet, vil en kvantitativ analyse vanskelig kunne måle seg med en kvalitativ analyse, fordi kvantitativ informasjon ikke er tilgjengelig eller ikke er til å stole på (C.J.M & Bergh, 2003). Det vil dermed være naturlig at nyttevirkningene og kostnadene verdsettes i kroner så langt det er faglig forsvarlig med de opplysningene man har tilgjengelig.

Verdien av statistisk liv og statistisk personskaade

Det er i noen tilfeller nødvendig i en kostnads- og nyttevurdering å vurdere nytteverdien av å forhindre personskaade eller redde et menneskeliv. Det er blant mange stor motvilje til å sette en pengeverdi på menneskeliv da det virker uetisk. Det vil uansett i et økonomisk perspektiv være svært nyttig, når en skal sammenligne alternativer med forskjellig risiko. Verdien av et statistisk liv (VSL) er her definert som verdien av en enhets reduksjon i forventet dødsfall i en gitt periode. Finanstilsynet fastsatte i 2012 verdien av et statistisk liv til 30 millioner kroner. Statistisk personskaade er inndelt etter alvorlighetsgrad og verdsatt henholdsvis 10 millioner for hardt skadde og 600 tusen for moderat skadde. Disse verdiene ble definert utfra den totale summen Norges befolkning er villig til å betale for en risikoreduksjon akkurat stor nok til å teoretisk sett spare et menneskeliv eller forhindre en personskade. (Direktoratet for økonomistyring, 2014)

Beregne kostnads og nytteestimer

Det er flere forskjellige fremgangsmåter for å beregne kostnads og nytteestimatene ved de forskjellige vedlikeholdstiltakene. Målet er å forsøke å estimere den totale levetidskostnaden så nøyaktig som mulig. Den generelle formelen for beregningen er gitt ved, (Bai & Bai, 2005)

$$Y(t) = IK_{\tau} + OK_{\tau} + RK_{\tau}$$

Hvor forkortelsene representerer,

$Y(t)$ = årlig kostnad

IK_{τ} = Investeringskostnader

OK_{τ} = Operasjonelle kostnader, både planlagte og uforutsette

RK_{τ} = Risikoutgifter

Hvorav hver kostnadsparameter representerer en gruppe individuelle kostnader. Forskjellen i fremgangsmåtene ligger i hvordan disse kostnadene estimeres og da er tilgangen til opplysninger om kostnadene avgjørende. Kostnadsparameterne kan for eksempel estimeres basert på historisk data og erfaringer, ingeniørvurderinger, og probabilistisk estimering. Som regel kombineres disse for å skape et best mulig estimat. Historisk data er ofte lett tilgjengelig og er passende for grove estimater. Svakheten er at de i utgangspunktet ikke tar høyde for lokale tilpasninger og dermed ikke er representative. Ingeniørvurderinger benyttes som oftest for å tilpasse andre opplysninger til det gjeldende systemet som vurderes eller i tilfeller hvor det ikke er annen tilgjengelig data. Svakheten er at bare de forholdene som ingeniørene kjenner til vil spille inn på kostnadsestimatet. Probabilistisk estimering går ut på å definere en sannsynlighetsmodell for kostnadselementene over systemets levetid. Denne fremgangsmåten er foretrukket for alle kostnadselementer som er forventet å variere i sannsynlighet over levetiden. Ikke alle kostnadselementer er relevant å estimere etter en probabilistisk metode, da flere av dem har en konstant kostnadsstrøm gjennom hele levetiden. Svakheten med probabilistisk estimering er at det må foreligge statistisk data og at det krever mye arbeid å analysere den statistiske dataen.

Anvend kalkulasjonsrente

Det er et kjent fenomen at 1 krone ikke vil ha samme verdi flere år frem i tid som den har i dag. Nåverdimetoden er den vanligste metoden for å estimere nåverdien av en fremtidig kostnad. Metoden går ut på at alle fremtidige kostnadsstrømmer neddiskonteres til dagens verdi ved å benytte en kalkulasjonsrente. Kalkulasjonsrenten reflekterer at virkningen av kostnads- og nytteverdiene teller mindre i fremtiden enn de gjør i dag. Det er vanlig å justere kalkulasjonsrenten i forhold til bankens rente for å ta høyde for usikkerheten. Usikkerheten som bør tas hensyn til når en bestemmer kalkulasjonsrenten er todelt. Den ene gjelder generell usikkerheten til samfunnsøkonomien i sin helhet, mens den andre relateres til det økonomiske resultatet til prosjektet eller tiltaket som analyseres. (Hagen, et al., 2012) Ved stor usikkerhet benyttes en høyere kalkulasjonsrente.

Kalkulere NPV for hvert alternativ

NPV metoden benyttes så for hver aktuelle vedlikeholdsteknikk slik at de enkelt kan sammenlignes. *Figur 7: NPV beregning* viser utregningsmetode med tilhørende symbolbeskrivelse.

Formelen for beregning av netto nåverdi

$$NNV = -I_0 + \frac{U_1}{(1+r)^1} + \frac{U_2}{(1+r)^2} + \frac{U_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{U_n}{(1+r)^n}$$

der:

- I_0 er en investeringsutgift som påløper i år 0
- U_t er det samfunnsøkonomiske nettonytten tiltaket genererer (det vil si nytte minus kostnader) i år t
- r er kalkulasjonsrenten (realrente) som forutsettes å være konstant i analyseperioden
- n er antall år i den valgte analyseperioden

Figur 7 NPV beregning, fra (Senter for statlig økonomistyring, 2010)

Utføre sensitivitetsanalyse

I kost-nyttevurderinger vil det være en viss usikkerhet knyttet til hvert kostnads og nytteelement. For å redusere usikkerheten bør det utføres sensitivitetsanalyse av de faktorene som forventes å ha størst påvirkning på resultatet. Det finnes flere metoder med varierende kompleksitet som kan anvendes. Enklest er sensitivitet/følsomhetsanalyse hvor en parameter av gangen endres for å se hvordan resultatet påvirkes. Et annet alternativ er scenarioanalyse

hvor flere parametere endres samtidig. Svakheten med overnevnte metoder er at ingen av de tar hensyn til sannsynligheten for at verdiene endrer seg. Dersom det skal betraktes må en Simuleringsmodell, som for eksempel Monte Carlo simulering anvendes.

Ta en beslutning

Når alle beregninger er gjort vil det være nødvendig å presentere resultatet i et oversiktlig format som gjør de alternative vedlikeholdsteknikerne sammenlignbare. Det kan for eksempel gjøres ved hjelp av et beslutningstre eller i matriseform.

2.4 Svikt og tekniske levetider

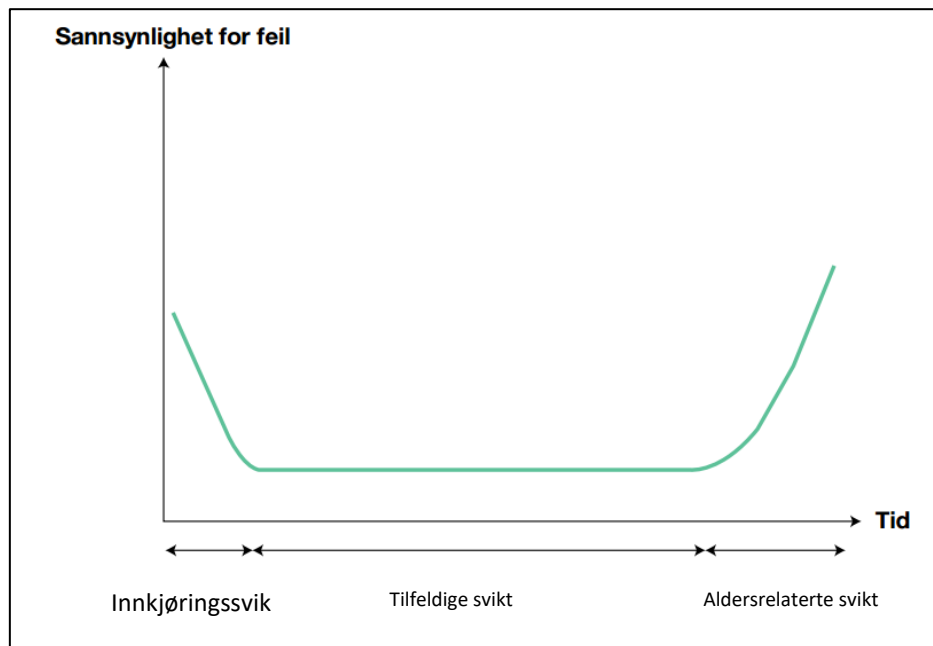
Kunnskap om svikt og nedbrytningsprosess er kritisk for å beherske tilstandsbasert vedlikehold (Conachey, 2004). Svikt kan ikke kan ikke ses på som en enkelt hendelse, men heller som en prosess. En komponent eller et system tas i bruk, og på et tidspunkt i dets levetid starter sviktutviklingen. Sviktutviklingen varer så frem til komponenten eller systemet ikke lenger oppfyller de funksjonskrav som forventes (Børresen, 2011). Tilstandsbasert vedlikehold omhandler altså ikke å forhindre sviktprosessen fra å oppstå, men om å gjøre tiltak for å forhindre at sviktprosessen reduserer funksjonaliteten til under ønsket nivå. Dette kapitlet ser derfor nærmere på forskjellige sviktklassifiseringer, sviktprosesser og på hvilke parametere som kan påvirke en komponent eller et systems tekniske levetid.

2.4.1 Sviktfrekvens

For mange systemer er svikteksponeringen ukjent, og vanskelig å definere. Det er da viktig med kjennskap til hvilke utløsende faktorer som kan fremprovosere svikt. Disse faktorene kan grupperes etter innkjøringssvikt, tilfeldige svikt eller aldersrelaterte svikt. Kjennskap til disse sviktgruppene gir verdifull kunnskap når en skal bestemme vedlikeholdsstrategi eller prioritere vedlikeholdsaktiviteter. I *Figur 8: «Badekarkurve»*, kan en gjenkjenne sviktgruppene med hensyn til forventet sviktfrekvens over vedlikeholdselementets levetid (Conachey & Montgomery, 2003),

- *Innkjøringssvikt*, også kjent som «barnesykdomer» er de sviktmodene som oppstår like etter at et system er satt i drift. Disse kan forårsakes av forhold som produksjonsfeil, installasjonsfeil, feilbruk, o.l.

- *Tilfeldige svikt*, er de sviktmodene som kan oppstå i normal drift. Feilraten er konstant i denne fasen. Potensielle svikt forårsaker av plutselig påkjenning, ekstraordinære forhold eller tilfeldige menneskelige feil.
- *Aldersrelaterte svikt*, kjennetegnes med sviktmoder som er aldersrelatert og oppstår som følge av generell slitasje og nedbrytning.



Figur 8: "Badekarkurve" (Valen, 2011)

Det varierer fra system til system hvilke eksponeringer de vil ha for henholdsvis innkjøringssvikt, tilfeldig svikt og aldersrelaterte svikt. Dermed vil det variere hvordan sviktfrekvensen utvikler seg igjennom et systems levetid. Det er i litteraturen beskrevet seks ulike sviktprosesser som et teknisk system kan inneha. Disse introduseres i *Figur 9: sviktprosesser* og beskrives kort nedenfor. Figuren illustrerer forholdet mellom sannsynligheten for svikt langs Y-aksen, og systemets levetid langs X-aksen,

Graf A: Systemer som er eksponert for både innkjøringsrelaterte, tilfeldige og aldersrelaterte sviktmoder.

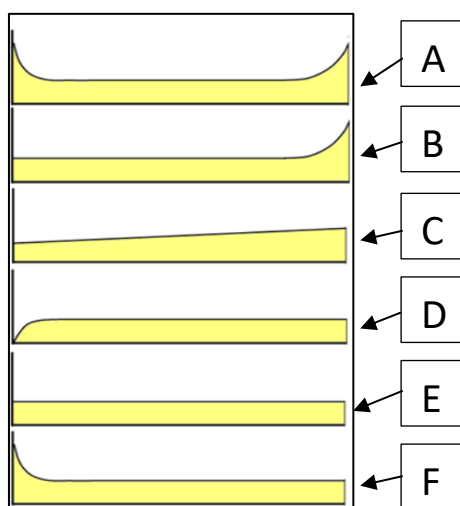
Graf B: Systemer som er eksponert for aldersrelaterte og tilfeldige sviktmoder, men innkjøringsvikt er ikke forventet og forekomme.

Graf C: Systemer som er eksponert for kun aldersrelaterte sviktmoder.

Graf D: Systemer som har en innkjøringsfase uten kjente sviktmoder, men etter noe tid er konstant eksponert for tilfeldige sviktmoder.

Graf E: Systemer med konstant eksponert for tilfeldige sviktmoder gjennom hele levetiden.

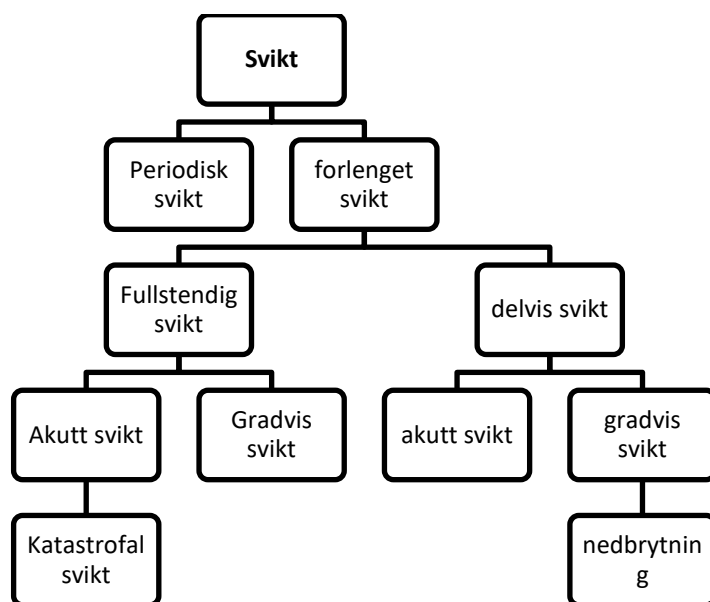
Graf F: Systemer med en særskilt stor eksponering for innkjøringsfeil. Etter innkjøringsfasen har systemet stabil eksponering for tilfeldige sviktmoder.



Figur 9: Sviktprosesser, tilpasset fra (Moubray, 1997) og (Conachey & Montgomery, 2003)

2.4.2 Sviktklassifisering

Det er vanlig å klassifisere svikt etter dens utvikling over tid kombinert med dens effekt på funksjonaliteten til komponenten eller systemet. *Figur 10: Sviktklassifisering* gir en hierarkisk fremstilling av forskjellige sviktyper. På den ene siden kan svikt klassifiseres som periodisk, det innebærer at funksjonaliteten svinger mellom full funksjonalitet og redusert funksjonalitet. Denne sviktklassen er ofte utfordrende å granske, da symptomene gjerne kun er detekterbare i de periodene der funksjonaliteten er redusert. På den andre siden er forlenget svikt, som er den vanligste typen og kjennetegnes ved at svikten utvikler seg kontinuerlig i tiden fra den først oppstår. Forlenget svikt kan inndeles i fullstendig funksjonssvikt eller delvis funksjonssvikt og hver av disse kan igjen utvikle seg akutt eller gradvis.



Figur 10: Sviktklassifisering, tilpasset fra (Rausand & Høyland, 2009)

2.4.3 Teknisk levetid

Levetidsdata er svært viktig som underlag for blant annet vedlikeholdsplanlegging, tilstandsovervåkning og livssyklus kostnads vurderinger. Levetiden til et bygg defineres som "den tiden det tar før bygget eller dens deler ikke lenger tilfredsstillende minimumskrav" (Kampesæter, Bjørberg, & Listerud, 2009) Det kan skilles mellom flere ulike levetider, men det er for vedlikeholdsplanlegging mest relevant å forholde seg til teknisk levetid. Teknisk levetid utgjør den tiden det tar å slite ut en bygningsdel eller et teknisk system. Det er vanskelig å finne kilder til levetidsdata for bygningsdeler. En anerkjent kilde til levetidsdata for

bygningsdeler er SINTEF Byggforsk bygningsforvaltningsblad 700.320, hvor en rekke bygningsdeler har fått angitt kort, middels eller lang levetid. Denne, som alle andre kjente kilder for levetidsdata for bygninger er kjent for å ha relativt høy usikkerhet, ettersom dataen er erfaringsbasert og ikke innsamlet på en definert og strukturert måte (Kampesæter, Bjørberg, & Listerud, 2009).

Når levetidsdataen anvendes i praksis er det nødvendig å ta høyde for at verdiene angitt i tabellen er veiledende. Levetidstabellen bør benyttes i kombinasjon med analyse av de parameterne som kan påvirke den tekniske levetiden til bygningsdelene. Ifølge veiledningen til NS 3424:2012 – Tilstandsanalyse av byggverk påvirkes den tekniske levetiden til komponenter eller systemer hovedsakelig av fem parametere, (Norsk standard, 2015)

1. Materialtekniske egenskaper: Styrke, E-modul, osv.
2. Design: Prosjekteringsmessig utdetaljering fra arkitekt, rådgiver etc.
3. Utførelse: Den fysiske utførelsen på bygget, dvs. den håndverksmessige standard.
4. Påkjenninger: Alle former for nedbrytende krefter fra brukere, vær og vind, kjemiske - og biologiske påvirkninger.
5. Vedlikehold: det vedlikehold den enkelte bygningsforvalter utfører, spesielt preventivt vedlikehold. I denne sammenheng må vedlikehold oppfattes som alle tiltak som har betydning for funksjonaliteten.

Et eksempel på hvordan en kan gå frem for å beregne forventet levetid ved å kombinere levetidsdata og påvirkende parametere er visst i *Tabell 7: Eksempel på beregning av forventet levetid*. Denne fremgangsmåten er kvalitativ og går ut på at hver påvirkende faktor klassifiseres som «dårlig», «middels» eller «bra». Før så å tilpasse den forventede levetiden deretter.

Tabell 7: Eksempel på beregning av forventet levetid. Tilpasset fra (Kampesæter, Bjørberg, & Listerud, 2009)

	Lav	Middels	Høy
	15	20	25
Faktor	Dårlig	Middels	Bra
Materialtekniske egenskaper			X
Design		X	
Utførelse		X	
Påkjenning		X	
Vedlikehold			X

➔ Forventet levetid er cirka 22 år.

Svakheten med denne fremgangsmåten er at den i utgangspunktet ikke tar høyde for vekting av faktorene. Det vil variere hvor avgjørende hver faktor er utfra hvilket system levetiden vurderes for. Det er dermed viktig at de som foretar vurderingen har tilstrekkelig kunnskap om systemet.

2.5 Tilstandsovervåkning

Tilstandsovervåkning baseres på å velge en målbar parameter ved en komponent eller et system som vil forandre seg når komponenten/systemet forringes. For så å jevnlig monitorere parameteren til en forandring oppstår. Ved å sammenligne parameterens utvikling mot et referansenivå skal en kunne forutse optimalt tidspunkt for å utføre vedlikehold. En mer detaljert undersøkelse kan igangsettes for å diagnostisere tilstanden, slik at korrekte tiltak kan planlegges. (Hutton, 1996) Tilstandsovervåkning er hovedprosessen i tilstandsbasert vedlikehold og består av å samle in data, analysere dataen og stille en diagnose for tilstanden.

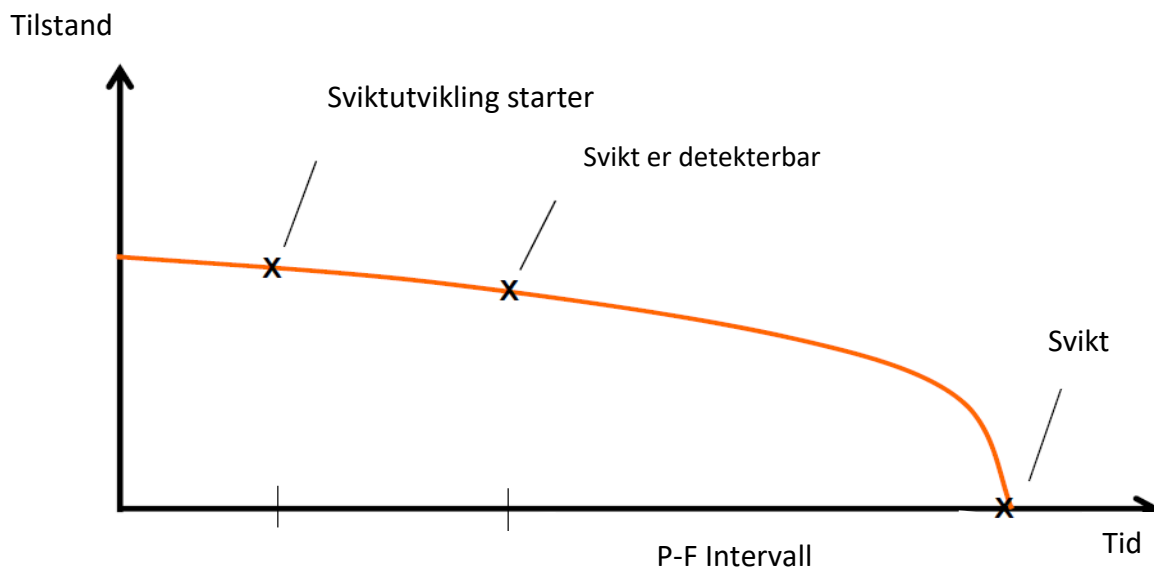
2.5.1 Innsamling av data

Innsamling av data er første seg i tilstandsbasert vedlikehold og går ut på å samle og lagre informasjon som kan fortelle noe om tilstands til vedlikeholdsobjektet. Typiske parametere som kan være relevant og overvåke er temperatur, trykk, luftfuktighet, vibrasjon, akustikk eller andre fysiske parametere. Selve overvåkingen av parametere kan gjøres periodiske eller kontinuerlig, automatisk eller manuelt avhengig av hva teknologien tillater eller hva som anses som praktisk mulig for å sikre integriteten til komponenten eller systemet. Kontinuerlig innsamling av data foregår med sensorer permanent installert på vedlikeholdsobjektet og en

form for varsling dersom noe er unormalt. Ulempen med kontinuerlig innsamling av data er at utstyret ofte er svært kostbart og at det produseres enorme mengder data som kan være vanskelig å behandle. Derfor benyttes ofte periodisk overvåkning, ettersom at utstyret som oftest er billigere og dataen lettere å behandle.

P-F intervall

For at tilstandsovervåkning skal aksepteres som vedlikeholdsstrategi må sviktmoden være av slik art at sviktutviklingen kan detekteres, og tiltak implementeres før svikten har rukket å utvikle seg til funksjonssvikt. Dette tidsintervallet kalles P-F-intervall og P-F-intervallets varighet kan variere mellom alt fra et par sekunder til flere år, avhengig av sviktmoden.



Figur 11: P-F intervall, tilpasset fra (Moubray, 1997)

Når det skal avgjøres om en tilstandsovervåkningsteknikk aksepteres med hensyn til P-F-intervallet må kritikaliteten til utstyret og usikkerheten til beregningene tas til etterretning. Målet er at intervallet mellom hver innsamling av data skal være så mye kortere enn P-F-intervallet at en rekke å implementere vedlikeholdstiltak. (Sæbø & Schjølborg, 1998)

2.5.2 Analyse av målinger

Et stort utvalg modeller, algoritmer og verktøy er utviklet for å analysere og systematisere dataene slik at de enklere kan tolkes. Hvilke modeller, algoritmer og verktøy som bør anvendes avhenger av hvilke typer data som skal analyseres. Tilstandsovervåkningsdataen kan ha tre forskjellige former (Lin, 2006),

- Verdidata: Verdier av en parameter samlet som single datapunkt. For eksempel temperatur, trykk eller luftfuktighet.
- Bølgeformet data: Verdier av en parameter som forventes å ha en kontinuerlig svingning over en gitt tidsperiode. For eksempel vibrasjonsdata.
- Flerdimensjonale data: Flerdimensjonale verdier samlet på som single datapunkt. For eksempel fotografier som infrarøde bilder eller røntgenbilder.

Uavhengig av hvilke fremgangsmåter en baserer analysen av dataen på, er grunnidéen den samme, å sammenligne tilstandenes endring mot predefinerte grunnverdier. Det er også avgjørende å sette en akseptgrense for parameteren som overvåkes. Det kan være utfordrende å sette en akseptgrense for å optimalisere overvåkningen. Settes akseptgrensen for lavt kan en risikere at vedlikeholdstiltaket utføres for tidlig, og dermed påføre en unødvendig kostnad. Er det for høyt kan funksjonssvikt av vedlikeholdselementet oppstå før en rekker å implementere tiltak.

2.5.3 Resultat fra analyse

Når informasjon om vedlikeholdselementets tilstand er samlet, er det viktig å utnytte informasjonen best mulig. Relevant informasjon må filtreres ut og presenteres på et format som er forståelig. Ofte er det bare interessant å vite om parameteren som overvåkes er under en gitt grenseverdi, mens i andre tilfeller er det vanlig å presentere TTF (tid til feil). TTF referer til estimert gjenværende tid til svikt, gitt alderen og tilstanden til komponenten eller systemet. Dersom TTF skal ha verdi for beslutningstaker er det nødvendig at det er en entydig oppfatning med hva som ligger i begrepet «feil».

I tillegg til å vurdere hvilken informasjon som skal presenteres, er det nødvendig å vurdere hvilken platform den helst bør presenteres. Dagens webteknologi åpnet for at dataen kan gjøres tilgjengelig på nettsider eller applikasjoner og dermed er lett tilgjengelig for de som skal ha informasjonen.

2.5.4 Teknologi og utstyr

For at teknisk tilstandsovervåkning skal være anvendbart i privatboliger er det avgjørende at det kan utføres uten å kreve kunnskap og/eller innsats fra beboerne. Da må innovativ teknologi til for å kompensere for den manglende involvering fra personell på stedet. Dette kapitlet introduserer den omkringliggende teknologien som skal bidra til å gjøre dette mulig.

Sensortechnologi

Stor prisreduksjon innen elektronikk i kombinasjon med innovativ mikroteknologi har åpnet for nye mulighet rundt sensortechnologi. Sensorer blir stadig bedre egnet for tilstandsovervåkning. Konvensjonelle sensorer besto hovedsakelig av et følerelement som kunne måle et gitt fenomen, for så å sende dataen til ekstern analyse. I dag er det intelligente sensorer som selv prosesserer dataen de måler, i tillegg til å ha egenskaper som, (Holmberg, et al., 2010)

- Innebygd programvare for å selv diagnostisere og selv kalibrere seg, samt evne til å tilpasse seg (f. eks koble seg til WIFI igjen etter strømbrudd, eller gå i strømsparemodus ved lavt strømnivå)
- Dataprosessering som signalbehandling, datareduksjon (videreformidler kun relevant data) og detekterer utløsende hendelser
- Standardisert nettverksprotokoll som gjør det enklere for sensorene å kommunisere med hverandre og for operatører å kommunisere med sensorer.
- Å kunne behandle flerdimensjonale data

En av de største utfordringene med bruk av sensorer er energitilførsel. For at overvåkningssystemet skal være attraktivt bør det kreve færrest mulig periodiske vedlikeholdsoppgaver for operatørene, som for eksempel batteribytte. Sensorene er designet for lavt strømforbruk, og et batteri kan i dag vare flere år på en sensor. Enkelte sensorer er selvforsynt med energi. For eksempel vil en vibrasjonssensor kunne drive sensoren på energi fra vibrasjonen. (Holmberg, et al., 2010)

Webteknologi

Tradisjonelt har overvåknings- og diagnosesystem presentert informasjonen lokalt på display på utstyr eller i kontrollrom, mens i dag kan dataen sendes direkte og trådløst til hvor som helst i verden. Det er heller ikke lenger nødvendig med tunge programmer internt på en datamaskin. Både overvåkingen og diagnoseringsen kan programmeres og presenteres i HTML-sider, altså vill en kunne logge på og overvåke fra vanlige enheter som telefon eller laptop. Dette gjør at eksperter fra andre siden av jorden kan følge opp tilstanden på gitt utstyr. (KUNZE, 2003)

Dashbordteknologi

Informasjonsformidling ved bruk av elektroniske dashbord er et område hvor det i stadig større grad foregår FoU-aktiviteter (Meland, Schjøberg, Vatn, & Rødseth, 2009). Elektroniske dashbord er et viktig verktøy for å visualisere og skape relevans av innsamlet data. Et kjent problem er at virksomheter som praktiserer tilstandsovervåking innehar verdifull data som de ikke vet hva de kan bruke til. Dette motvirkes med nyutviklede metoder for databehandling og tillater en mer effektivt og intuitiv anvendelse av dataen, noe som igjen er ventet å ha en motiverende og instruerende effekt. Relevant data kan for eksempel være parametere til teknisk tilstand, eller statistisk presentasjon av KPI-er.

Dokumentsstyringssystem

Det er nylig lansert et nettsted som fungerer som et servicehefte for boliger. Dette nettstedet er kalt boligmappa.no På boligmappa.no lastes dokumentasjon fra håndverkere automatisk når de har avsluttet arbeid i boligen. På den måten har en alltid kontroll over boligdokumenter. I tillegg har boligmappa en vedlikeholdsfunksjon hvor alt preventivt vedlikehold kan legges inn i kalender, som varsler deg når vedlikeholdet skal utføres. Videre kan en logge inn å sjekke av etter hvert som vedlikeholdet er utført. Det er også lagt til rette for å laste opp bilder og skrive kommentarer til de aktivitetene som utføres. Denne mappa følger boligen, slik at ved boligsifte har de nye eierne full kontroll over vedlikeholdsaktiviteter som er utført på boligen. (Boligmappa, 2016)

Smarthusteknologi

Det kan være interessant å se på Smarthus- teknologi når man vurderer anvendelsen av teknisk tilstandsovervåkning i private boliger, da de to er sammenlignbare med hensyn til innovasjon og teknologi. Med Smarthus menes hus som har integrert teknologi for styring av ulike elementer av huset. Det kan være for eksempel belysning, ventilasjon, temperatur, markiser, vinduer, dører, komfyr, kjøleskap osv. For 15-25 år siden var det en enorm interesse for fenomenet og det ble forutsett en stor utvikling på dette feltet. Eksempelvis ble det forespeilet kjøleskap med evnen til å varsle om hvilke varer som måtte handles. Utviklingen har gått noe treigere enn ventet, og interessen til allmennheten dabbet noe av. Det antas at grunnen til dette er at folk frykter for IT- problemer. Harper uttalte i sin bok «The connected home: The future of domestic life», at han så for seg at i fremtiden ville de fleste hus ha etablert IT- support for IT- systemet i hjemmet, slik at en til enhver tid kunne få hjelp til nyinstalleringer, oppgraderinger eller vedlikehold av hjemmenettverket (Harper, 2011). Apple lanserte nylig applikasjonen «Home» som tillater å styre alt smartutstyr i huset fra mobiltelefonen. På hjemmesiden listes det opp utstyr som allerede er lagt til rette for å kunne styres fra applikasjonen, blant annet lysbrytere, stikkontakter, termostater, vifter, dørlåser, kameraer og mye mer. (Apple, 2016)

2.5.5 Tilstandsovervåkning som industriell tjeneste

Som følge av at det blir mer utstrakt bruk av avanserte systemer som krever spesialkompetanse, ser en at det er en pågående endring i leverandørindustrien. Flere leverandører som tidligere solgte utstyr tilbyr nå skreddersydde pakkeløsninger som er verdiskapende for kunden og gir konkurransefortrinn på konkurrentene. Det er derfor nærliggende å tro at flere leverandører av tekniske systemer vil tilby fjernovervåkning av utstyr de har levert som en del av sin pakkeløsning (Syre, 2009). Det vil dessuten være verdiskapende å samle mest mulig data av en utstyrstype på ett sted.

2.5.6 Metoder for tilstandsovervåkning

SINTEF fikk i 2009 i oppdrag fra Petroleumstilsynet å kartlegge FoU-aktiviteter innen vedlikehold. Som et resultat av deres litteratursøk fant de at «*Hovedtyngden av tekniske artikler dekker ulike teknikker innenfor tilstandsovervåkning.*» (Meland, Schjølberg, Vatn, & Rødseth, 2009) Teknisk tilstandsovervåkning kan utføres på en rekke forskjellige måter. Dette

studiet går ikke i dybden på forskjellige metodikker, men presenterer en oversikt over alternative metoder. Poenget med det er å gi et bilde av hvor omfattende og variert metodeutvalget er. Nedenfor presenteres en liste over flere anerkjente metoder fordelt i fem kategorier, engelsk terminologi er beholdt. (Rao B. , 2004)

Vibration Monitoring:

- Overall monitors
- Spectral analysis
- Discrete frequency monitoring
- Shock pulse monitoring
- Kurtosis method
- Cepstrum analysis
- Signal averaging

Wear Debris Analysis:

- Inductive sensors
- Capacitive sensors
- Electrically conducting filters
- Existing & special filter systems
- Optical oil turbidity monitor & Level sensors
- Magnetic plugs
- 73
- Centrifuges
- Particle counters
- Ferrography
- Rotary Particle Depositor (RPD) & Particle Quantifier (PQ)
- Spectrography

Visual Inspection:

- Boroscopes & Fibrescopes
- Stroboscopes
- Dye penetrants
- Thermographic paints & Crayons
- Infra-Red Thermography
- Radiography
- Laser Systems
- Magnetic flux
- Electrical Resistance
- Eddy Current
- Ultrasonics
- Stress wave sensors
- Corrosometer

Noise monitoring:

- Stress wave sensors
- Corrosometer
- Sound pressure monitoring (Microphones)
- A-Weighting
- Damage Risk Criteria
- Equivalent continuous energy level monitoring
- Impulsive Noise monitoring
- Spectral analysis
- FFT / Zoom FFT
- Infrasonic noise monitoring
- Sound Intensity monitoring

Environmental Pollution Monitoring

- Air pollution monitoring
- Water pollution monitoring
- Earth pollution monitoring

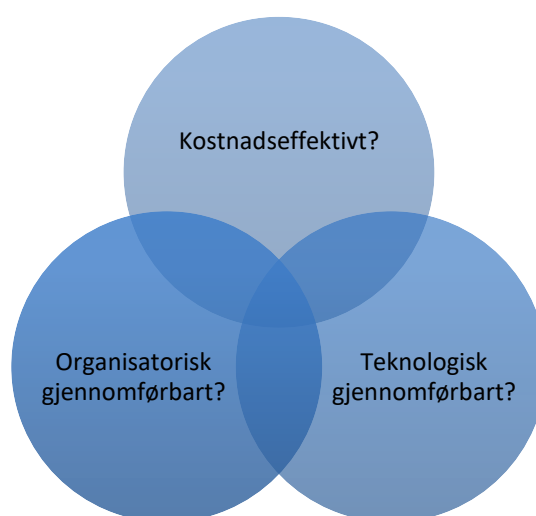
Dette er ikke en fullstendig liste da det stadig introduseres nye teknikker for tilstandsovervåkning. Listen gir likevel en god indikasjon på hvor omfattende og kompleks tilstandsovervåkning som fagfelt er.

3 Metode

Tilstandsbasert vedlikehold har tradisjonelt vært benyttet for mekaniske utstyr hvor det er mye energi i bevegelse eller i områder med spesielt høy risiko. Som et resultat av enorm teknologisk utvikling er det i dag nesten ingen begrensning for hva metoden kan benyttes til (IAEA, 2007). Det er derfor interessant å vurdere anvendelse av tilstandsbasert vedlikeholdsstrategi i private boliger.

Denne oppgaven er avgrenset til å se på hvorvidt tilstandsovervåking av fuktmåling i baderoms konstruksjoner ved private boliger vil være hensiktsmessig. Etter forfatters oppfatning er det tre faktorer som avgjør dette. Det må være teknisk gjennomførbart, organisatorisk gjennomførbart og nytteverdien må være større enn kostnadene. Teknisk og organisatorisk gjennomførbart er tett sammenknyttet, da innovativ teknologi anses som kritisk for å bekjempe de mange organisatoriske utfordringene som oppstår når teknisk tilstandsovervåking skal overføres fra industri til private boliger.

For å besvare problemstillingen i denne studien ble det valgt å basere vurderingen på kvalitative metoder. I første omgang var dette et omfattende litteratursøk for å introdusere teorier og begreper som er relevant for problemstillingen. I neste omgang ble det utført faktiske gjennomførbartetsvurderinger og kost-nytteberegninger for tilstandsovervåking i baderomskonstruksjoner.



Figur 12: Betingelser for hensiktsmessig tilstandsovervåking

3.1 Litteratursøk

Den første aktiviteten for dette studiet var et omfattende litteratursøk i artikkeldatabaser, nettsider, tidsskrifter og bøker. Dette for å samle grunnlag til å kunne introdusere begreper og basiskunnskap som er relevant for problemstillingen.

Det ble i litteratursøket utført søk i databaser som google scholar, Georef, Scopus, Academic Search Premier, ScienceDirect, Business source complete og Emerald insight. Søkeord som ble benyttet var henholdsvis «optimal maintenance», «building maintenance», «Condition Monitoring», «condition based maintenance», «cost-benefit analysis», «technical feasibility», «moisture measuring in building structures» og flere.

3.2 Analyse

I analysedelen av denne rapporten er det utført faktiske vurderinger og beregninger for å finne ut av om fuktovervåkning i baderomskonstruksjoner er hensiktsmessig. Først drøftes teknisk gjennomførbarhetsvurdering for å bekrefte om baderommet er en alternativ kandidat for tilstandsbasert vedlikehold, og for å kartlegge potensielle overvåkningsteknikker som kan benyttes. Deretter drøftes de potensielle overvåkningsteknikkene med hensyn til organisatorisk gjennomførbarhet. Videre utføres kost-nytteanalyse av de aktuelle metodene. Det ble i dette studiet lagt størst vekt på kost-nyttevurderingen.

Tanken med å utføre disse vurderingene og beregningene var at observasjonene fra analysen skulle gi en dypere innsikt i mulige sammenhenger og dermed bedre forståelse av fenomenet tilstandsovervåkning sett i et boligvedlikeholdsperspektiv.

4 Analyse: Fuktmåling i baderomskonstruksjoner

I dette kapitlet gjøres en faktisk vurdering og beregning av tilstandsovervåkning av fukttilstanden ved baderom i private boliger. Det innebærer en forklaring av de generelle forutsetningene som er gjort for vurderingen, teknisk gjennomførbarhetsvurdering, organisatorisk gjennomførbarhetsvurdering og til slutt en kostnads- og nyttevurdering.

4.1 Generelle forutsetninger

Analyseobjekt og analyseperiode

Baderommet er et av de dyreste rommene å gjøre noe med. Fukt eller vannskade fra baderommet kan gi betydelig konsekvens for privatøkonomien, og i noen tilfeller negativ helseeffekt på beboerne. Det kan heller ikke ses bort ifra fordyrende følgeskader. Baderommet har mange kritiske konstruksjoner og kompliserte detaljer, det er derfor urovekkende at det tradisjonelt sett har vært vanlig at arbeid utføres ved egeninnsats fremfor av fagfolk.

I dette sakstudiet forutsettes det at baderommet er klassifisert som våtrom og er konstruert med keramiske fliser direkte på membran, lettvegg. Byggforsks levetidstabell angir forventet teknisk levetid til 15 ± 5 år for denne typen konstruksjoner. Analyseperioden ble dermed satt til 20 år. I kostnadsestimatene forutsettes det videre at boligeier ikke selv har fagkunnskap til å utføre vedlikeholdsarbeid på baderommet og derfor må belage seg på innleid arbeidskraft.

4.2 Teknisk gjennomførbarhetsvurdering

Den tekniske gjennomførbarhetsvurderingen er gjennomført etter samme prosess som ble beskrevet i kapittel 2.4.3 *Teknisk gjennomførbarhet*. Prosessen var bygget rundt fem ja/nei spørsmål, hvor samtlige måtte bekreftes før vedlikeholdsstrategien var å anse som teknisk gjennomførbar.

1. Er sviktmodene for vedlikeholdsobjektet kjent og er de detekterbare?

Sviktmodene er kjent. Ifølge byggforsk er vanlige skader og feil på våtrom utett membran i våtsone, vegger som ikke tåler vann, utette rørgjennomføringer, lekkasje i skjult røranlegg, svak forankring av veggmontert toalett, el-feil på varmekabler, gulvkonstruksjon har ikke tilstrekkelig stivhet og bæreevne for flis og utstyr, utett sluk eller overgang fra sluk til membran, manglende fall mot sluk, oppsprekking pga. hard fugemasse mellom fliser i hjørne, utett kantforsegling, utette fuger i overgang mellom gulv og vegg, galt underlag for fliser, høy luftfuktighet, lav kapasitet på ventilasjonsanlegg, manglende membran og manglende luftespalte ved dører eller gjennom vegg (Byggforsk, 2010).

Denne vurderingen ser på fukt og vannskader. Andre svikt som kan oppstå inngår ikke som en del av vurderingen.

2. Er P-F intervallet langt nok til for å rekke å implementere tiltak?

P-F-intervallet er den tiden det tar fra en sviktutvikling kan detekteres frem til analyseobjektet når en tilstand som kan klassifiseres som «sviktet». Dermed er det nødvendig å definere hva som skal legges i begrepet «sviktet» for at P-F-intervallet skal ha relevans. Se kapittel 2.6.1 P-F-intervall.

Målet er å identifisere lekkasjer og økning i fuktinnholdet på innsiden av baderomskonstruksjonen før fuktskader forekommer på bygningskonstruksjonen. Hvor lang tid det tar før fuktskader forekommer avhenger av forhold som hvilket material som eksponeres, temperatur og hvor høyt fuktinnholdet er. Forfatter har ikke lyktes i å finne estimater til hvor lang tid dette tar. Erfaringsmessig vet vi at nedbrytningsprosessen for bygningskomponenter som eksponeres for fukt foregår svært sakte. Dessuten er det en av de største truslene med fuktskade følgeskader, fuktskadene sprer seg til nærliggende bygningkomponenter med tiden. Det anses derfor som hensiktsmessig å utføre tilstandsovervåkning av fukttilstanden i baderomskonstruksjonen som et konsekvensreducerende tiltak.

3. Eksisterer det teknikker for tilstandsovervåkning?

I et forskingsprosjekt utført ved Helsinki University of Technology i 2005 ble metoder og instrumenter for å måle fukt i bygningsstrukturer kartlagt og evaluert. Resultatet av forskningen var et kommersielt produkt bestående av lavkost passive sensorer og et håndholdt avlesningsapparat. Dette var det mest passende alternativet forfatter lyktes i å finne ved litteratursøk over alternative overvåkningsteknikker for fukt.

I rapporten fra forskningsprosjektet ble det forøvrig også presentert en aktiv online sensor for kontinuerlig måling, men denne var ikke ansett som passende for langsiktig fuktovervåkning av baderomskonstruksjoner. Det ble begrunnet med at det ikke eksisterer gode nok batterier for den lange levetiden som kreves, samt at sensorene ville bli svært kostbare.

Fuktovervåkningsteknikken som er vurdert er utviklet ved Helsinki University of Technology. Metoden går ut på at det installeres passive sensorer på innsiden av bygningsstrukturen på spesielt utsatte steder som i vegg bak dusj, eller i gulv nær utløpssluk. Sensorene må installeres i forbindelse med bygging eller totalrenovasjon, da den skal installeres innenfor membranen i konstruksjonen. Den fungerer ved at fuktighetsforholdene i strukturen påvirker resonansfrekvensen og kvalitetsfaktoren til sensoren. Videre benyttes et håndholdt måleapparat for å lese av fuktmålingen fra sensorene. Dette gjøres fra utsiden av konstruksjonen. Fordelen med denne metoden er at sensorene får energi fra avlesningsapparatet, og det er dermed ikke nødvendig med batteriskifte. I motsetning til tradisjonelle fuktmålemetoder behøver man heller ikke å gjøre skadende inngrep på konstruksjonen. Det håndholdte apparatet har i tillegg diagnostiske egenskaper, så det kreves dermed ingen spesialkompetanse fra personen som utøver målingene. Målingen kan utføres i ønsket frekvens, men utviklerne av systemet forespeiler at 6 måneders frekvens vil være hensiktsmessig i den normale levetidsfasen for baderommet. (Voutilainen, 2005)

Forfatter har ikke lyktes i å finne andre aktuelle metoder som passer formålet.

4. Er overvåkningsteknikkene validert?

Kun én overvåkningsteknikk ble identifisert som virket å passe dette formålet. Denne teknikken har vært testet i reelle forhold. Sensorene er testet med de mest typiske bygningsmaterialer brukt i baderomskonstruksjoner, deriblant ulike betongtyper, mur, gips plater, trefiberplater og lignende. Sensorene har så langt blitt installert i flere hundre baderom siden år 2000 og systemet har vist seg å være funksjonelt. Følgende tekniske opplysninger oppgis, (Sepponen & Voutilainen, 2016)

- En nøyaktighet på ± 2 prosentpoeng av relativ fuktighet er oppnådd
- Systemet fungerer i området 60 - 100% av relativ fuktighet
- Systemet har blitt testet i et temperaturområde fra 0 - 40 ° C

5. Vill teknikken gi ønsket effekt?

Systemet vil gi ønsket effekt. Målet var å finne en teknikk som kunne identifisere fuktdannelse på innsiden av baderomskonstruksjonen på en ikke-destruktiv måte.

Konklusjon teknisk gjennomførbarhet

Det kan dermed konkluderes med at tilstandsovervåkning av fukttilstanden i baderomskonstruksjoner er en aktuell vedlikeholdsstrategi og er teknisk gjennomførbart.

4.3 Organisatorisk gjennomførbarhetsvurdering

Kravene for at teknikker for tilstandsovervåkning skal være organisatorisk gjennomført er at den ikke skal være til bry for boligeier og at det må være brukervennlig nok til at den kan utføres uten opplæring og spesialkompetanse. Optimalt bør tilstandsovervåkingen foregå automatisk og bare gi varsel til boligeier ved unormal tilstand. Den identifiserte metoden krever at boligeier selv må samle inn informasjon om tilstanden ved hjelp av et håndholdt måleapparat. Leverandøren oppgir at dette er gjort på få minutter. Det håndholdte måleapparatet har i tillegg diagnostiske egenskaper som gjør at personen som benytter apparatet ikke trenger utvidet kunnskap om fukt.

Det konkluderes dermed med at selv om teknikken ikke er optimal, er den å anse som organisatorisk gjennomførbart for bruk i private boliger.

4.4 Kost-nyttevurdering

I litteraturen oppfordres det til å benytte kost-nyttevurdering for å danne beslutningsgrunnlag til å vurdere hva som er optimal vedlikeholdsstrategi for et gitt vedlikeholdsobjekter. Dette kapitlet utfører en slik vurdering av baderommet ved private boliger. Prosessen som følges ble presentert i *kapittel 2.3.5 Kost-nyttevurdering*.

4.4.1 Feilkilder ved kost-nyttevurdering

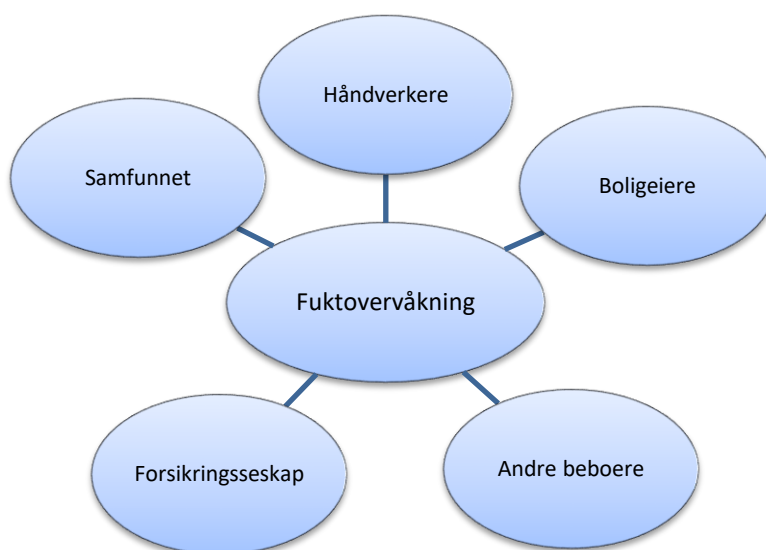
Ettersom resultatet fra kost-nyttevurderinger som oftest er av stor betydning for beslutningstaker er det viktig å unngå feilaktige beregninger. Forfatter har derfor gjort seg kjent med de vanligste feilkildene med kost-nytteberegninger. De vanligste feilkildene er (Houmstuen, 2010),

- Utelatelse av data
- Mangel på en systematisk struktur eller analyse
- Feiltolkning av data
- Feil eller misbrukte beregning teknikker
- Prioritering av feil eller ubetydelige fakta
- Unnlatelse av å vurdere usikkerhet
- Unnlatelse av å kontrollere arbeidet
- Estimering av feil elementer
- Bruk av uriktige eller inkonsistente eskaleringsdata

4.4.2 Interessenter

For å gjøre en helhetlig beslutning vil det være hensiktsmessig å kartlegge alle interessenter som påvirkes av at fuktovervåkning i baderomskonstruksjonen på private boliger. Se *Tabell 8: Oversikt over interessenter for fuktovervåkning i baderomskonstruksjoner*. Boligeier er den som er ventet å bli mest påvirket. Det vil fra kostnadssiden kunne gi direkte effekt i form av rabattert boligforsikring og en bedre utnyttelse av reklamasjonstid eller garantiperioden. Flere forsikringsselskaper gir rabatt for denne typen tiltak i hjemmet, for eksempel opplyser et forsikringsselskap at de gir inntil 60% rabatt til kunder som implementerer skadeforebyggende tiltak. Når det gjelder reklamasjonsrett vil fordelene for boligeier være at det er større

sannsynlighet for å avdekke feil og mangler som oppstår som følge av dårlig utført arbeid. Ifølge håndverkerloven skal det gis 5 års reklamasjonsrett på den type arbeid (*Justis- og beredskapsdepartementet, 2016*). Utover det viser søk på forskjellige baderomsleverandørers hjemmesider at det er relativt vanlig å operere med en forlenget garanti på arbeidet på opp til 10 år. Andre påvirkende faktorer for boligeiere er at det forventes å ha en forebyggende effekt mot helseplager som følge av mugg og råteskader. Det kan da antas at kjennskap til baderomskonstruksjonens tilstand også kan gi økt trygghetsfølelse og bedre trivsel.



Figur 13: Oversikt over interessenter for fuktovervåkning i baderomskonstruksjonen

Helseargumentet gjelder også for de øvrige beboerne i huset og for så vidt for samfunnet generelt. Det er i samfunnets interesse å medvirke til å skape trygge omgivelser for folket og det vil være kostnadsbesparende både med hensyn til medisinsk behandling, men også eventuell tapt arbeidskraft. En annen aktør som i stor grad kan påvirkes er forsikringsselskapene, de betaler i gjennomsnitt omtrent 26,2 millioner årlig i erstatning for fukt- og vannskader fra våtrom i private boliger. Til slutt er det baderomsleverandørene. Som nevnt tidligere vil feil og mangler ved utførelsen av arbeid kunne avdekkes tidligere, dermed påvirkes også baderomsleverandørene. Det vil trolig tvinge frem strengere krav til kvalitet ved utførelse av arbeidet.

Tabell 8: Oversikt over interesser for fuktovervåkning i baderomskonstruksjonen

Interessenter	Påvirkning
Boligeiere	Fordeler: <ul style="list-style-type: none"> • Helsemessig fordel • Økt trivsel • Økt trygghetsfølelse • Rabatert boligforsikring • Avdekke skjulte feil innenfor reklamasjonstid/garantiperiode • Kostnadsbesparende? Ulemper kan være at det oppleves som stressende dersom datainnsamlingen må foretas manuelt.
Øvrige beboere i husstanden (Barn, leieboere eller andre)	<ul style="list-style-type: none"> • Helsemessig fordel • Økt trivsel • Økt trygghetsfølelse
Forsikringselskap	<ul style="list-style-type: none"> • Kostnadsbesparende med færre tapshendelser • Informasjon til granskning
Potensielle kjøpere	<ul style="list-style-type: none"> • Gir god trygget for kjøper å kjenne boligens tilstand dersom det skulle bli aktuelt med boligsalg
Baderomsleverandører / håndverkere	<ul style="list-style-type: none"> • Det vil trolig tvinge frem høyere kvalitet i leveranse fra baderomsleverandører da feil og mangler ved utførelsen vil oppdages ved et tidligere stadium.
Samfunnet for øvrig	<ul style="list-style-type: none"> • Det er i samfunnets interesse å medvirke til å skape trygge omgivelser for folket • Det er kostnadsbesparende for samfunnet med bedret folkehelse og med redusert ulykkesrisiko

4.4.3 Alternative vedlikeholdsstrategier

I denne kostnads- og nyttevurderingen sammenlignes vedlikeholdsstrategien korrektivt vedlikehold, preventivt vedlikehold og den identifiserte tilstandsovervåkningsteknikken for fuktmåling. Korrektivt vedlikehold er den praksisen som ser ut til å være mest utbredt blant boligeiere i dag.

4.4.4 Parametere til vurdering

Følgende parametere er inkludert i denne kostnads- og nyttevurderingen,

- Kostnad, total utskiftning av våtrom
- Kostnad, akutt vedlikehold
- Kostnad, planlagt vedlikehold
- Kostnad, tilstandsovervåkning
- Sviktrate

- Redusert forekomst av akutt vedlikehold mot at sviktmoden detekteres og kan behandles som planlagt vedlikehold
- Levetidsvurderinger

Parametere som ikke er inkludert i kostnads- og nyttevurderingen er,

- Helseaspektet ble ikke beregnet som en del av denne kost-nytte-analysen. Da det er for stor usikkerhet knyttet til hva den egentlige helseeffekten av muggsopp og råte er. Det henvises for øvrig til *kapitel 2.1.2 helseeffekter ed eksponering av fukt og råte* for drøfting rundt emnet.
- Verdien av potensielt økt trivsel.
- Potensielt sparte kostnader av å anvende tilstandsovervåkningsutstyret til flere formål enn bare baderommet.

4.4.5 Total kostnad uten fuktovervåkning

Total levetidskostnad for baderommet med korrektiv vedlikeholdsstrategi er i denne vurderingen gitt ved formelen,

$$Y(t) = (SR_{\tau} * KAV) + TU_{\tau}$$

Hvor Forkortelsene er,

$Y(t)$ = Total kostnad år t

SR_{τ} = Sviktrate år t

KAV = Akutt vedlikehold

TU = Totalkostnad utskiftning

Ved korrektivt vedlikehold er levetiden forventet å være svært lang da baderommet kan utføre sine tiltenkte funksjoner selv lenge etter fuktskade og sopp eller råte forekommer. I beregningene er derfor forventet teknisk levetid satt til 20 år som er i det øvre sjiktet av forventet teknisk levetid i byggforsks levetidstabell. Det medfører stor helserisiko, og vil ha innvirkning på trivselen til beboerne. Det var nødvendig å beregne kostnadsstrømmen for

hvert år isolert sett for å ta høyde for endring i sviktraten samt for å legge til rette for korrekt NPV kalkulering. Hele beregningen ble utført i databehandlingsprogrammet Microsoft Excel. Datatabellen for beregningene ligger som vedlegg 1 i denne rapporten og Excelfilen ble lagt ved rapporten ved innlevering.

Kostnadsestimater

De kostnadselementene som ble anvendt i beregningene var kostnad for total utskifting av baderom, kostnad for akutt vedlikehold, kostnad for planlagt vedlikehold og kostnad for fuktovervåkning.

Kostnad, total utskiftning

Kostnaden for total utskiftning av baderommet er i denne analysen basert på informasjon fra diverse baderomsleverandører og anslått til 250 000 ± 50 000. Prisen er avhengig av størrelsen på baderommet og ønsket standard. Prisen inkluderer demontering og rivning av bad, forsterkning av vegger og gulv, isolering og oppbygning, vegger, tak, el., membran, støpearbeidet og overflater, montering og belistning og opprydning/overlevering.

Kostnad, akutt vedlikehold

Kostnad for akutt vedlikehold er i denne analysen basert på VASK erstatningsstatistikk og anslått til 11 000 kr. Det er det gjennomsnittlige erstatningsbeløpet som utbetales for fuktskader ved baderom. Typiske sviktmoder som kan føre til behov for akutt vedlikehold er i VASK-statistikken gruppert etter produktfeil, prosjekteringsfeil, håndverkerfeil, brukerfeil (uhell), slitasje og elde, lokal korrosjon, stopp i avløp (tilbakeslag), frost, ytre påvirkning og drenering.

Kostnad, planlagt vedlikehold

Kostnaden for planlagt vedlikehold er i denne analysen basert på skjønnsmessig vurdering og informasjon fra forskjellige baderomsleverandører og er anslått til 6000 ± 3000. Begrunnelsen for at kostnaden for planlagt vedlikehold er lavere enn for akutt vedlikehold, er at følgeskade forhindres, samt at en har bedre tid til å velge en rimeligere og mer kvalitetsbevisst håndverker til arbeidet.

Kostnad, fuktovervåkning

Kostnaden for fuktovervåkningsutstyret er basert på opplysninger fra forskningsrapporten som introduserte metoden. Det ble opplyst at enhetskostnaden for sensorene er rundt 100kr per stykk og kostnaden for måleapparatet er rundt 1000 euro (Voutilainen, 2005). Det er for øvrig tenkelig at hver husstand ikke behøver å eie et eget måleapparat, men denne eventualiteten inngår ikke i analysen.

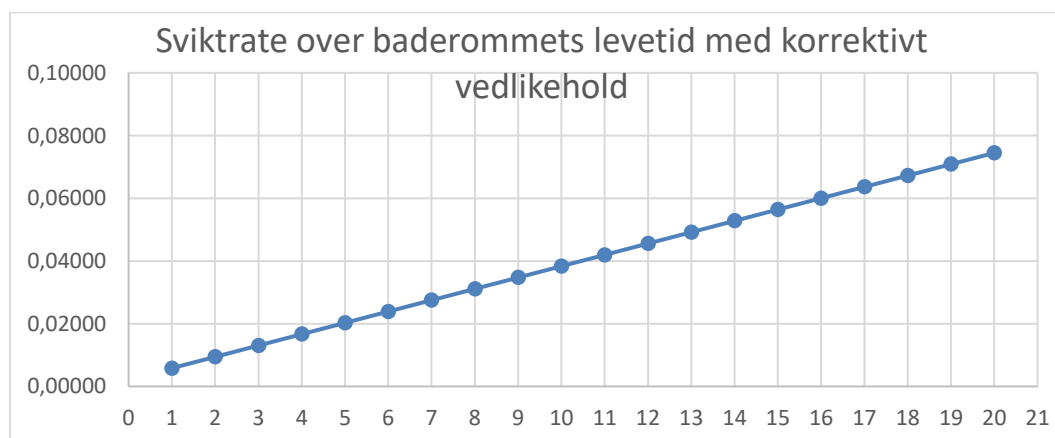
Sviktestimater

Sviktraten for badromssvikt med fukt- eller vannskade som konsekvens, er i denne analysen basert på VASK- statistikken. I statistikken kan en filtrere på antall skader etter byggeår. Se *Tabell 9: Fuktskader i badrom fordelt etter byggeår*. Videre ble snittfrekvensen beregnet som forholdstallet mellom antallet boliger dekket av VASK- statistikken og antallet skader rapportert. Ved hjelp av disse dataene ble det modellert en sannsynlighetsmodell for sviktførekost over badrommets levetid.

Tabell 9: Fuktskader i badrom fordelt etter byggeår (VASK, 2016)

Bygningsalder	Antall fuktskader	Snittfrekvens i perioden
0 til 5 år	444	0,000236874
6 til 10 år	737	0,00039319
11 til 15 år	1039	0,000554307
16 til 20 år	1169	0,000623662

Funksjonen til sannsynlighetsmodellen var tilnærmet lineær med et stigningstall på 0,0002. Det ga en sviktrate over levetiden som illustrert i *Figur 14: Sviktrate over badrommets levetid*.

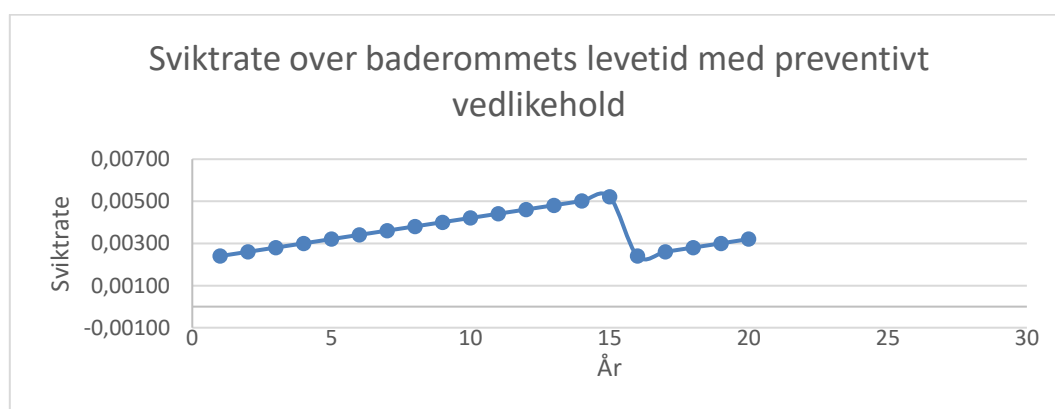


Figur 14: sviktrate over badrommets levetid

Svakheten med overnevnte dataunderlag er at den ikke tar høyde for sviktføremster som ikke er rapportert til forsikringselskaper eller sviktføremster som boligeier selv ikke er kjent med. Denne frekvensen er trolig svært høy. Anticimexrapporten konkluderte med at 20% av 10 903 kontrollerte boenheter hadde umiddelbare utbedringsbehov, 54% hadde skader eller feil som ville kreve utbedring innen rimelig tid og bare 25% ble vurdert til å ha tilfredsstillende standard (Nilsen, Norstein, & H., 2006). For å ta høyde for denne usikkerheten er det lagt til en frekvent av urapportert svikt til sviktraten. Denne er basert på skjønsmessig vurdering og satt til henholdsvis $0,002 \pm 0,002$. Videre er den probabilistiske funksjonen beregnet ut fra data som er oppgitt i 5års- frekvenser, og inkluderer derfor for eksempel ikke potensielle innkjøringsfeil som kan ha vært betydelige i for eksempel år én og to.

4.4.6 Effekt preventivt vedlikehold

Preventivt vedlikehold skiller seg fra korrektivt vedlikehold kun ved at baderommet i seg selv skiftes ut i den frekvensen som er anbefalt i byggforsks levetidstabell. Det er ikke identifisert preventive vedlikeholdsoppgaver som kan utføres for å forhindre sannsynligheten for at svikt oppstår. Dermed vil sviktraten ha samme sviktfunksjon som ved korrektivt vedlikehold frem til total utskifting forekommer etter 15 år. Kostnadene for akutt vedlikehold vil kunne beregnes etter samme ligning som for korrektivt vedlikehold. Se *Figur 15: Sviktrate med preventivt vedlikehold* og vedlegg 2, beregningstabell for preventivt vedlikehold. Effekten av preventivt vedlikehold vil være at en reduserer sannsynligheten for negative helseeffekter som kan oppstå som følge av fukt og råte og i tillegg bidrar til økt trivsel, da baderommet fornyes oftere.



Figur 15: Sviktrate med preventivt vedlikehold

4.4.7 Effekt av fuktovervåkning

Effekten av å drive periodisk fuktmåling i konstruksjonen til baderommet er basert på skjønnsmessig vurdering. Det antas at 80 % ± 20 % av alle detekterbare svikt oppdages med fuktmålingsmetoden og dermed kan behandles som planlagt vedlikehold fremfor akutt vedlikehold. Potensiell følgeskade forhindres, i tillegg til at en har tid til å velge et best mulig tiltak. Videre antas det at den totale tekniske levetiden vil være i det øvre sjiktet av bygningstabellens levetidsintervall, altså 20 år. Den årlige kostnaden for vedlikehold av baderommet i tilfellet hvor fuktovervåkning utføres er beregnet etter ligningen,

$$Y(t) = (SR\tau * (1 - d) * KAV) + (SR\tau * d * KPV) + KT\tau$$

$Y(t)$ = kostnad år t

SR_t = Sviktrate år t

d = Deteksjonsrate (Prosentvis forventet identifisering av svikt med måling)

KAV = Kostnad akutt vedlikehold

KPV = Kostnad planlagt vedlikehold

KT_t = Kostnad total utskifting

I tillegg kommer investeringskostnaden for nødvendig utstyr i år 0. Se ferdig utregnet datatabell fra Excel i vedlegg 2.

4.4.8 NPV kalkulering og sammenstilling av kostnadstall

Før de totale kostnadstallene kan sammenstilling må det tas høyde for nåverdien av kostnadsstrømmene. Det er for denne analysen besluttet å benytte en kalkulasjonsrente på 4%, dette anslaget er basert på regjeringens anbefalte kalkulasjonsrente. Se utredning om kalkulasjonsrente og NPV beregning i kapittel 2.4.5 *kost-nyttevurdering*. I *Tabell 10: Resultat fra kost- og nyttevurdering av fuktmåling i baderomskonstruksjonen*, presenteres den totale kostnaden for de tre alternative vedlikeholdsstrategiene som er vurdert i analysen. Det fremkommer fra analysen at gitt alle overnevnte forutsetninger og opplysninger Kommer preventivt vedlikehold dårligst ut med en total kostnad på -256 644kr og en NPV på -143 186kr. Nest dårligst ut kommer alternativet med fuktmåling, hvor total kostnaden er -265 619kr og en NPV på -127 471kr. Det billigste alternativet er korrektivt vedlikehold hvor total kostnaden

er – 258 830 og en NPV på -119 400. Dette gir en NPV rate mellom korrektivt og preventivt vedlikehold på 0,83, og en NPV rate mellom korrektivt vedlikehold og tilstandsbasert vedlikehold på 0,937.

Tabell 10: Resultat fra kostnads- og nyttevurdering av fuktmåling i baderomskonstruksjonen

	Korrektivt vedlikehold		Med fuktmåling		Preventivt vedlikehold	
Totalkostnad	-kr	258 830,81	-kr	265 619,61	-kr	256 644,74
NPV	-kr	119 400,13	-kr	127 471,62	-kr	143 185,91

4.4.9 Sensitivitetsanalyse

Ettersom variablene benyttet i analysen har varierende grad av usikkerhet knyttet til seg ble det lagt forholdsvis stor vekt på å analysere sensitivitet. Spesielt for de variablene med høy usikkerhet og de variablene som forventes å ha størst innvirkning på det endelige resultatet. Se utredning om sensitivitetsanalyse i kapittel 2.4.5 Kost- nyttevurdering. Som verktøy for å utføre sensitivitetsanalysene ble hva-skjer-hvis-funksjonene i Microsoft Excel, Datatabell og Målsøking anvendt. Datatabell for å undersøke endringen i NPV raten når en gitt variabel justeres og Målsøking for å identifisere variablenes krysningpunkt. Det innebærer at når resultatene fra sensitivitetsanalysene tolkes, må det tas forbehold om at alle øvrige forutsetninger er korrekte. De variablene som er sensitivitetsvurdert er henholdsvis,

- Kostnad, total utskiftning av anlegget
- Kostnad, planlagt vedlikehold
- Kostnad, investering i tilstandsovervåkningsutstyr
- Kostnad, akutt vedlikehold
- Deteksjonsraten
- Kalkulasjonsrenten
- Levetid for baderommet med fuktmåling

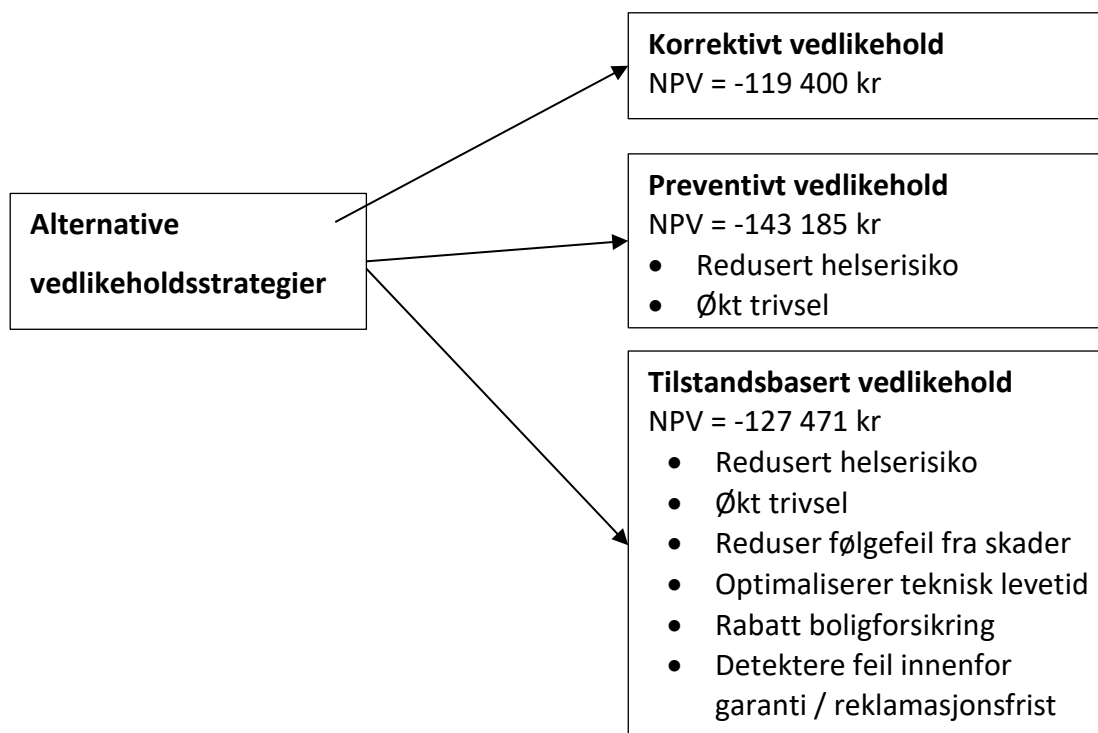
Det ble lagt vekt på å sensitivitetsvurdere forholdet mellom det som er vanlig praksis i dag, altså korrektivt vedlikehold og tilstandsbasert vedlikehold. Preventivt vedlikehold er identisk med korrektivt vedlikehold sett bort ifra differansen i forventet teknisk levealder.

De viktigste resultatene fra sensitivitetsanalysen var at forventet levetid har stor innvirkning på utfallet av beregningene. Dersom den tekniske levetiden med korrektivt vedlikehold er 18 år eller mindre vil tilstandsbasert vedlikehold være mer lukrativt. Videre var det interessant at dersom investeringskostnaden for tilstandsovervåkningsutstyret hadde vært 1 888 kr eller mindre hadde tilstandsbasert vedlikehold vært det mest lukrative alternativet. Videre var kalkulasjonsrente en ganske sensitiv parameter. En økende kalkulasjonsrente gjorde tilstandsbasert mindre lukrativt sammenlignet med korrektivt vedlikehold.

En endring i resterende parametere hadde ifølge de utførte beregningene lite betydning for NPV raten mellom korrektivt og tilstandsbasert vedlikehold.

4.4.10 Resultat

Resultatet fra kost-nyttevurderingen presenteres i *Figur 16: Resultat kost-nytte vurdering*. I figuren presenteres de tre alternativene som er vurdert med forventede NPV og forventede positive effekter. Resultatet bør ikke benyttes som beslutningsunderlag alene. Beslutningstakere må settes seg inn i de forutsetninger og antagelser som er gjort i arbeidet med denne analysen.



Figur 16: Resultat kost-nytte vurdering

4.4.11 Drøfting av kost-nytte analysen

Basert på de forutsetninger og Beregningene som er gjort i kost-nytteanalysen i denne rapporten fremkommer det at fuktmåling av baderomskonstruksjoner ikke vil være økonomisk lønnsomt sammenlignet med korrektivt vedlikehold. Spørsmålene en da må stille er om disse resultatene er til å stole på, eller om de så usikre at de ikke kan benyttes som underlag for beslutningstaking. Hva bør i så fall utgjøre grunnlaget for beslutningen? Resultatet krever nærmere drøfting. Den er gjennomført på tre punkter,

- Usikkerhet i datagrunnlag og resultater
- Punkter som ikke inngår i kost-nytte analysen
- Forslag til forbedring av datagrunnlaget og beslutningsgrunnlaget

Usikkerhet i datagrunnlag og resultater

Kostnads- og nyttevurderingen bygger på mange forskjellige datakilder, hvorav noen av de er mer usikre enn andre. For eksempel er opplysningene om kostnaden av å utføre tilstandsovervåkning etter den gitte metoden meget sikre, da vi vet prisen på utstyret. Kostnaden for total renovering av baderommet er også sikre, da prisen er kryssjekket mellom flere leverandører. Denne kostnaden kan riktig nok variere stort fra person til person basert på hvilken standard de ønsker etter renovering, men det er i utgangspunktet tatt høyde for det som markedsføres som gjennomsnittlig høy standard.

Opplysningene om sviktraten var usikre. De ble basert på informasjon fra norske forsikringsselskaper og representerer dermed bare skader som er rapportert til forsikringsselskapet. Sannsynlighetsfordelingen som ble benyttet i kalkulasjonene er dermed også usikre, da denne var basert på overnevnte forsikringsdata. Sannsynlighetsfordelingen ble beregnet utfra datapunktene for sannsynlighet for svikt etter boligens byggeår. Disse datapunktene var oppgitt i 5års-sykluser og ikke årlig basis, fordelingen tar derfor ikke høyde for eventuell variasjon innenfor 5års-syklusene. Det er tenkelig at baderommet i realiteten har en sannsynlighetsfordeling over levetiden som er mer lik den kjente «Badekarkurven», men opplysninger for å verifisere dette var ikke tilgjengelig. Den lineære funksjonen for sannsynlighetsfordelingen over levetiden ble ansett som et godt nok estimat på dette stadiet.

Opplysningene om deteksjonsfrekvensen var usikre. Vi vet sikkert at tilstandsovervåkningssystemet for fuktovervåkning har oppnådd en nøyaktighet på ± 2

prosentpoeng av relativ fuktighet. Usikkerheter ligger i frekvensen det utføres målinger og plasseringen av sensorene i baderomskonstruksjonen, da sensorene bare måler i umiddelbar nærhet av installasjonsstedet.

Opplysningene om baderommets levetid var usikre. De ble basert på byggforsks levetidstabell for bygningsdeler. For det første er levetidstabellen i seg selv usikker, da den er basert på erfaringsdata innsamlet på usystematisk vis (Kampesæter, Bjørberg, & Listerud, 2009). For det andre er det usikkert om det er den tekniske levetiden som avgjør når baderommet skiftes ut i private boliger. Det er i Norge relativt normalt å modernisere boligen basert på estetisk grunnlag.

Opplysningene om de faktiske vedlikeholdskostnadene var usikre. Kostnadene for akutt vedlikehold ble basert på informasjon fra norske forsikringsselskaper oppgitt i VASK-databasen. I databasen kan en velge å få oppgitt erstatningsbeløp utbetalt som følge av fuktskader i baderommet. Det er imidlertid ikke mulig å se hver enkelt skade, og dermed er det heller ikke mulig å beregne den statistiske usikkerheten. Det ble tatt utgangspunkt i det gjennomsnittlige erstatningsbeløpet, selv om kostnaden i realiteten vil variere stort. Kostnaden for planlagt vedlikehold ble basert på skjønnsmessig vurdering og kunnskap om at følgeskade forhindres. Også denne kostnaden vil variere stort utfra hvilket vedlikeholdstiltak som skal utføres.

På bakgrunn av denne drøftingen kan det konkluderes med at usikkerheten til dataunderlaget for beregningene totalt sett var relativt høy.

Punkter som ikke inngår i kost-nytte analysen

En kost-nytte analysen gir sjeldent alene et fullstendig beslutningsgrunnlag. Det finnes som oftest relevante momenter som ikke inngår i en kost-nytte analyse. Det er tilfelle også for kost-nytte analysen av å utføre tilstandsovervåking av fukttilstanden i baderoms konstruksjoner ved private boliger. I delkapittel 4.4.4 *Parametere til vurdering* ble det introdusert fire parametere som ikke er kvantifisert som en del av denne analysen.

Den først og kanskje viktigste er helseaspektet. Forskning har påvist at eksponering for muggsoppspor og råte kan medføre økt risiko for negative helseutfall som astma, allergi, eksem og infeksjoner i øvre og nedre luftveier og at så mye som 50% av de som eksponeres jevnlig får redusert helse. Når vi i tillegg vet at så mye som rundt 20% av alle baderom i Norge har fuktskader som bør utbedres umiddelbart er det nærføreliggende å konkludere med at

overvåkning av fukttilstanden i baderommet vil kunne gi stor nytteeffekt i form av redusert helserisiko.

For det andre er fuktovervåkning i baderomskonstruksjoner en trygghetsfaktor for boligeier og øvrige beboere i boligen. Man vet at man ikke eksponeres for muggsporer og råtepartikler i inneluften. I prinsippet kan denne trygghetsfaktoren verdsettes økonomisk ved å gjennom en spørreundersøkelse, der man kartlegger om det eksisterer en slik trygghetsfaktor og anslår dens verdi bare på hypotetiske spørsmål. Resultatene av en slik undersøkelse vil imidlertid være usikre og virket ikke hensiktsmessig i forbindelse med denne kost-nytte analysen.

For det tredje kan det håndholdte måleapparatet som behøves også benyttet for andre formål. For eksempel kan det være aktuelt å installere lignende sensorer i andre fuktskadeutsatte bygningsdeler i boligen som krypkjelleren eller loft. Det kan være aktuelt at flere boligeiere går sammen om å investere i et slikt måleapparat.

For det fjerde er ikke effekten av redusert forsikringskostnad eller bedre utnyttelse av reklamasjonstid inkludert. Kost-nytteanalysen er utført fra et samfunnsperspektiv og tar derfor ikke hensyn til hvem som faktisk betaler de angitte kostnadene. Dette er svært vanskelig å beregne da det foreligger store variasjoner i forsikringsbetingelser og garantibetingelser. Det som er kjent er at fuktovervåkning vil medføre en stor nytteeffekt for boligeier når fuktlekkasjer som normalt ikke ville blitt oppdaget før sent i baderommets levetid, ved hjelp av fuktmåling, kan oppdages innenfor garantilevetiden. Videre gir som nevnt flere forsikringsselskaper rabatterte boligforsikringer for skadeforebyggende tiltak.

Forslag til forbedring av datagrunnlaget og beslutningsgrunnlaget

Kost-nytte-analysen av fuktovervåkning i baderomskonstruksjoner ved private boliger bygger i all hovedsak på offentlige grunnlagsdata. Det inkluderer offentlige statistikker og annet publisert materiale som for eksempel forskningsrapporter om fuktovervåkning, veiledninger fra byggforsk og lignende. Forfatter har ikke hatt tilgang til upublisert materiale som for eksempel sviktrater fra baderomsleverandører eller detaljerte rapporter fra faktiske skadeutviklinger. I hovedsak betegnes grunnlagsmaterialet til analysen som relativt svakt, da opplysningene som er anvendt ofte er generelle og ikke gir detaljkunnskap.

Det punktet der det er størst behov for bedre statistikk er den faktiske frekvensen for fuktforekomst, og informasjon om hvordan sannsynligheten fordeler seg gjennom

baderommets levetid. Det er ønskelig med et bedre grunnlag for å kunne bedømme hvor ofte fuktgjennomtrengning og lekkasje faktisk forekommer og hvordan konsekvensgraden utvikler seg over tid for de forskjellige sviktmodene. Opplysninger for å bedre estimere de overnevnte parameterne eksistere trolig i anticimexdatabase for boligskadestatistikk (Ikke offentlig).

Et annet punkt hvor datagrunnlaget med fordel kan forbedres er opplysninger om baderommets levetid. Byggforsk jobber kontinuerlig med å forsøke å forbedre deres levetidstabell. Beslutningsunderlaget kunne dessuten forbedres ved at det kartlegges hvorvidt det faktisk er den tekniske levetiden som er avgjørende for norske boligeiere, eller om det estetiske behovet for fornyelse forekommer først.

5 Resultater og diskusjon

All statistisk data angående fukt og vannskader i norske boliger gjennomgått i forbindelse dette studiet tilsier at problemet er relativt utbredt i Norge og dermed en problemstilling som fortjener oppmerksomhet. Forfatter valgte å vurdere fuktproblemet fra et vedlikeholdsperspektiv, med en tanke om at teknisk tilstandsovervåking ville ha kostnadsbesparende og risikoreduserende effekt. Som en avgrensing til oppgaven ble det besluttet å betrakte baderommet.

I første omgang var det nødvendig å verifisere at det var teknisk gjennomførbart å overvåke fukttilstand i baderomskonstruksjonen som vedlikeholdsstrategi. Dette ble gjort ved en forenklet teknisk gjennomførbarhetsanalyse. Det viste seg utfordrende å finne opplysninger om sviktforløpet til de identifiserte sviktmodene. Det forble dermed ukjent hvilken frekvens målingene burde utføres i for å fange opp de forskjellige sviktmodene. Forfatter slo seg til ro med at det uansett vil ha en konsekvensreducerende effekt å identifisere lekkasje, men at effekten i form av skadebegrensning vil være avhengig av frekvensene målingene utføres i. Med fordel bør kritikalitetsvurdering av baderommet utføres i samarbeid med eksperter på materialteknologi, fuktskade og det byggetekniske aspektet.

I neste omgang var det nødvendig å verifisere at den identifiserte metoden var organisatorisk gjennomførbar. Det optimale ville vært en metode hvor overvåkingen utførtes online og automatisk, slik at boligeier var frigjort fra alle aktiviteter knyttet til overvåkingen. Det ble dessverre ikke identifisert en slik løsning ved det tekniske gjennomførbarhetsstudiet.

Det er for øvrig nærliggende å anta at denne teknologien snart er utviklet, da det er batterikapasiteten for sensorer som forhindrer denne muligheten (Voutilainen, 2005).

Kost-nytte analysen er drøftet i kapitel *4.4.11 Drøfting av kost-nytte analysen*. Hovedessensen i drøftingen var at det er stort rom for forbedring av dataunderlaget til kost-nytte analysen.

6 Konklusjon

Dette studiet lyktes altså i å identifisere en teknikk for tilstandsovervåkning av fukttilstanden i baderommet som kunne kategoriseres som både teknisk og organisatorisk gjennomførbar basert på de kriteriene som ble lagt til grunn. Resultatene fra kost-nytte analysen alene verifiserte forøvrig ikke om teknikken vil være kostnadseffektiv. Det kan likevel tenkes at fuktovervåkning vil være det beste alternativet, når det ses i sammenheng med de parameterne som ikke ble tatt med i beregningene. Den reduserte helserisikoen spesielt, bør veie høyt for beslutningstakere. I tillegg må bruksområdet for det kostbare måleapparatet vurderes, da det er bekreftet at andre bygningsdeler som blant annet krypkjeler, kjellergulv og kjølerom også er å betrakte som spesielt utsatte for fuktskader.

6.1 Forslag til videre arbeid

I denne oppgaven har det blitt identifisert og vurdert en tilstandsovervåkningsteknikk for å overvåke fukttilstand i baderom i private boliger. Videre anbefales det at andre typer tilstandsovervåkning også vurderes for bruk i bolig. Innovativ sensorteknologi og webteknologi vil trolig åpne for mange muligheter, for eksempel kan elektrotermografi være aktuelt som brannforebyggende tiltak.

Et annet alternativ for videre arbeid er å se på andre anvendelsesområder for den tilstandsovervåkningsteknikken som ble vurdert i denne oppgaven. Alternative bruksområder kan for eksempel være at,

- Baderomsleverandører bør vurdere å benytte den identifiserte overvåkningsteknikken for å kvalitetssikre eget arbeid. Den lave kostnaden og enkle monteringen av sensorene gjør at sensorene kan installeres i forbindelse med at arbeidet utføres. Videre kan leverandøren komme tilbake etter at baderommet har vært i bruk en gitt tid, for å verifisere at eget arbeid tilfredsstiller gjeldende kvalitetskrav.
- Det bør vurderes å benytte fuktovervåkning av bygningskonstruksjoner ved offentlige bygninger, kanskje spesielt kommunale bygninger hvor personer med nedsatt immunsystem oppholder seg, som for eksempel pleiehjem.

Referanser

- Norsk Standard. (2013). *NS3454 - Livssyklus kostnader for byggverk*. Norsk Standard.
- AHMADI, A., GUPTA, S., KARIM, R., & KUMAR, U. (2010). *SELECTION OF MAINTENANCE STRATEGY FOR AIRCRAFT SYSTEMS USING MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODOLOGIES*. Varanasi (India): International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering.
- Apple. (2016, 11 02). *The Smart home just got smarter*. Hentet fra www.apple.com: <http://www.apple.com/ios/home/>
- Aven, T. (2004). *Grunnleggende om risiko, kost-nytte, risikostyring og beslutningstaking*. Stavanger.
- Bai, Y., & Bai, Q. (2005). LCC Modeling as a Decision Making Tool in Pipeline Design-Chapter 41. I Y. Bai, & Q. Bai, *Subsea Pipelines and Risers*. Elsevier Science.
- Bakke, J. V. (2012). Fukt i bygninger – hva koster det? *allergi i praksis*, 24.
- Bellamy, A.-M. (2014, 10 27). www.finanstilsynet.no. Hentet fra Bruk av tilstandsrapport i eiendomsformidlingen, Brev til Eiendom Norge, datert 27.10.2014: <http://www.finanstilsynet.no/no/Artikkelarkiv/Brev/2014/Bruk-av-tilstandsrapport-i-eiendomsformidlingen/>
- Boardman, N. E. (2006). *Cost-benefit Analysis: Concepts and Practice*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Boligmappa. (2016, 11). *Boligmappa*. Hentet fra Om boligmappa: <https://www.boligmappa.no/om-boligmappa/>
- Byggforsk. (2010). *700.110 Byggskader. Oversikt*. Trondheim: SINTEF Byggforsk.
- Børresen, C. S. (2011). *A framework for cost-benefit analysis on use of condition based maintenance in an IO perspective*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- C.J.M, J., & Bergh, v. d. (2003). *Optimal climate policy is a utopia: from quantitative to qualitative cost-benefit analysis*. Amsterdam, Nederland: Free university.
- Conachey, R. M. (2004). Development of RCM Requirements for the Marine Industry. *2nd International ASRANet Colloquium*. Houston: ASRANet.
- Conachey, R. M., & Montgomery, R. L. (2003). Application of reliability-centered Maintenance Techniques to the Marine Industry. *ABC Technical Papers*, 41-43.
- Direktoratet for økonomistyring. (2014). *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv*. Oslo: Direktoratet for økonomistyring.
- Fisk, W. J., Eliseeva, E. A., & Mendell, M. J. (2010). *Association of residential dampness and mold with respiratory tract infections and bronchitis: a meta-analysis*. Berkeley, USA: BioMed Central.
- Folkehelseinstituttet. (2015). *Anbefalte faglige normer for inneklima*. Oslo: Nasjonalt folkehelseinstitutt.
- Groen, A., & Krabbendam, K. (2012, 11 26). A MODEL TO EVALUATE STAKEHOLDER DYNAMICS DURING INNOVATION IMPLEMENTATION. *International Journal of Innovation Management*.
- Hagen, K. P., Berntsen, S., Bye, B., Hultkrantz, L., Nyborg, K., Pedersen, K. R., . . . Åvitsland, G. (2012). *samfunnsøkonomiske analyser*. Oslo: Norges offentlige utredninger.
- Harper, R. (2011). *The connected home: The future of domestic life*. Cambridge, UK: Microsoft Research Ltd.
- Holmberg, K., Adgar, A., Arnaiz, A., Jantunen, E., Mascolo, J., & Mekid, S. (2010). *E-Maintenance*. London: Springer.
- Horner, R., El-Haram, M., & Munns, A. (1997). Building maintenance strategy: a new management approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Houmstuen, J. (2010). *Condition Monitoring of Offshore O&G Separator – Cost-Benefit Evaluations*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Hutton, R. W. (1996). Condition Monitoring - The way forward. *Handbook of Condition Monitoring*. IAEA. (2007, Mai). IMPLEMENTATION STRATEGIES AND TOOLS FOR CONDITION BASED MAINTENANCE AT NUCLEAR POWER PLANTS. Vienna, Østerrike: IAEA (International Atomic Energy Agency).
- ISO. (2011). *Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework*. The International Organization for Standardization.

- Jadin, M. S., & Taib, S. (2011). *Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography*. Pinang, Malaysia: Elsevier.
- Justis- og beredskapsdepartementet. (2016, 11 06). *lovdata*. Hentet fra Lovdata, lover: Lov om håndverkertjenester m.m for forbrukere [håndverkertjenesteloven].
- Kampesæter, A., Bjørberg, S., & Listerud, C. A. (2009). *Levetid i praksis - prinsipper og bruksområder*. Oslo: Multiconsult.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2008). Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven). *Plan- og bygningsloven*. Norge.
- Kumar, R., & Kumar, U. (2004). A Conceptual Framework for the Development of a. *Journal of Business and Industrial Marketing*, Vol. 18 No. 4.
- KUNZE, U. (2003). *CONDITION TELEMONITORING AND DIAGNOSIS OF POWER PLANTS USING WEB TECHNOLOGY*. Erlangen, Germany : Siemens AG, Power Generation,.
- Lin, D. (2006). *Optimal Maintenance Decisions (OMDEC)*. Hentet fra A Survey Of Signal Processing And Decision Technologies For CBM: <http://www.omdec.com/moxie/Technical/Optimizing-CBM/SurveyCBM.shtml#note13>
- Lind, H., & Muyingo, H. (2012). *Building maintenance strategies: planning under uncertainty*. Stockholm, Sweden: Property Management, Vol. 30.
- Meland, O., Schjølberg, P., Vatn, J., & Rødseth, H. (2009). *Forskning og utvikling innen vedlikehold med relevans for petroleumsindustrien*. Trondheim: SINTEF teknologi og samfunn.
- Milje, R. (2011). *Engineering methodology for selecting CBM*. Stavanger: Universitetet i Stavanger.
- Mostue, B. A. (2008). *NBL A08111 Brannskadeutvikling i Norge - Tiltak for å redusere brannskadene*. Trondheim: SINTEF.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance, Second Edition*. New York: Industrial Press Inc.
- Multiconsult & Pricewaterhousecoopers. (2008). *Vedlikehold i komunesektoren, Fra forfall til Forbilde*. Oslo: Kommunens interesse- og arbeidsgiverorganisasjon.
- Nilsen, R., Norstein, S., & H. S. (2006). *Boligstatus 2006:1, Anticimex Boligstatistikk*. Oslo: Anticimex AS.
- Norback, D., Zock, J.-P., Plana, E., Heinrich, J., Svanes, C., Sunyer, J., . . . Jarvis, D. (2011). *Lung function decline in relation to mould and dampness in the home: the longitudinal European Community Respiratory Health Survey ECRHS II*. Uppsala, Sweden: THORAX.
- Norsk Standard. (2009). *NS 3451 Bygningsdelstabell*. Standard Norge.
- Norsk Standard. (2010). *NS-EN 13306:2010 Vedlikeholds Terminologi*. Norsk standard.
- Norsk Standard. (2012). *NS 3424 – Tilstandsanalyse av byggverk*. Norsk standard.
- Norsk Standard. (2013). *NS 3454 - Livssyklus kostnader for byggverk*. Standard Norge.
- Norsk Standard. (2014). *Veiledning til NS3600 Tilstandsanalyse ved omsetning av bolig*. Oslo: Standard norge.
- Norsk standard. (2015). *Veiledning til NS 3424:2012 – Tilstandsanalyse av byggverk*. Norsk standard.
- NORSOK. (2011). *Z-008 Criticality analysis for maintenance purposes*. Norwegian Technology Centre.
- NOU. (2004). *Velholdte bygninger gir mer til alle, Om eiendomsforvaltningen i komunesektoren*. Oslo: Norges offentlige utredninger.
- NOU. (2009). *Tilstandsrapport ved salg av bolig*. Oslo: Departementenes servicesenter Informasjonsforvaltning.
- Rao, B. (1996). *Handbook of Condition Monitoring*. Oxford: Elsevier Advanced Technology.
- Rao, B. (2004). *Handbook of condition monitoring*. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
- Rausand, M., & Høyland, A. (2009). *System reliability theory: models, statistical methods and applications. Second edition*. New Jersey: John Wiley and sons, inc.
- Raymond, C., & Joan, C. (1991). *Preventive Maintenance of Buildings*. London: Chapman and Hal.
- Senter for statlig økonomistyring. (2010). *Håndbok for samfunnsøkonomiske analyser*. Oslo: Senter for statlig økonomistyring.
- Sepponen, R., & Voutilainen, J. (2016, 11). *Vigilan*. Hentet fra Vigilan, Reseach program: <http://www.vigilan.fi/moisture/moisture-in-building-structures/>

- Simoni, M., Lombardi, E., Berti, G., Rusconi, F., Grutta, S. L., Piffer, S., . . . Viegli, G. (2005). *Mould/dampness exposure at home is associated with respiratory disorders in Italian children and adolescents: the SIDRIA-2 Study*. Pisa, Italy: Occupational and Environmental Medicine.
- SINTEF Byggforsk. (1997). *700.117 Undersøkelse av fuktskader i bygninger*. Trondheim: Sintef byggforsk.
- SSB. (2016, 10 11). SSB. Hentet fra Boforhold, levekårsundersøkelsen, 2015: <http://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bo/hvert-3-aar/2015-11-25#content>
- SSB. (2016, 09 10). [www.SSB.no](http://www.ssb.no). Hentet fra Folke- og boligtellingsen, boliger, 19. november 2011: <http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/fobbolig/hvert-10-aar/2013-02-26?fane=om#content>
- Syre, B. (2009). *Muligheter og utfordringer i forbindelse med videre utvikling av Tilstandsbasert Vedlikehold på Ula og Tambar*. Stavanger: Universitetet i Stavanger.
- Sæbø, H. J., & Schjøllberg, P. (1998). *Forebyggende vedlikehold basert på RCM-konseptet*. Trondheim: SINTEF.
- Takstlovutvalget. (2009). *NOU - 2009:6 - Tilstandsrapport ved salg av boliger*. Oslo: Lobo Media AS.
- Valen, M. S. (2011). *BYGNINGSVEDLIKEHOLD, Bedre planlegging – en nøkkel til bedre vedlikehold*. Trondheim: NTNU, Senter for eiendomsutvikling.
- VASK. (2016, 11 25). *VASK.FNO.no*. Hentet fra VASK - Vannskadestatistikk: <https://vask.fno.no/default.aspx>
- Vos, J. F., & Achterkamp, M. C. (2006, 10 18). Stakeholder identification in innovation projects, Going beyond classification. *European Journal of Innovation Management*.
- Voutilainen, J. (2005). *METHODS AND INSTRUMENTATION FOR MEASURING MOISTURE IN BUILDING STRUCTURES*. Helsinki: Helsinki University of Technology.

Vedlegg

Vedlegg 1 – Tabell årlige kostnader med korrektivt vedlikehold

Vedlegg 2 – Tabell årlige kostnader med preventivt vedlikehold

Vedlegg 3 – Tabell årlige kostnader med Tilstandsbasert vedlikehold

Vedlegg 1: Tabell årlige kostnader med korrektivt vedlikehold

år	Sviktrate	Akutt vedlikehold	Total utskifting	Total kostnad	NPV
1	0,00581	-kr 63,95	kr -	-kr 63,95	-61,487
2	0,00943	-kr 103,69	kr -	-kr 103,69	-95,870
3	0,01304	-kr 143,44	kr -	-kr 143,44	-127,518
4	0,01665	-kr 183,19	kr -	-kr 183,19	-156,589
5	0,02027	-kr 222,93	kr -	-kr 222,93	-183,235
6	0,02388	-kr 262,68	kr -	-kr 262,68	-207,600
7	0,02749	-kr 302,43	kr -	-kr 302,43	-229,820
8	0,03111	-kr 342,17	kr -	-kr 342,17	-250,023
9	0,03472	-kr 381,92	kr -	-kr 381,92	-268,332
10	0,03833	-kr 421,67	kr -	-kr 421,67	-284,863
11	0,04195	-kr 461,41	kr -	-kr 461,41	-299,726
12	0,04556	-kr 501,16	kr -	-kr 501,16	-313,024
13	0,04917	-kr 540,91	kr -	-kr 540,91	-324,855
14	0,05279	-kr 580,65	kr -	-kr 580,65	-335,313
15	0,05640	-kr 620,40	kr -	-kr 620,40	-344,487
16	0,06001	-kr 660,15	kr -	-kr 660,15	-352,458
17	0,06363	-kr 699,89	kr -	-kr 699,89	-359,307
18	0,06724	-kr 739,64	kr -	-kr 739,64	-365,108
19	0,07085	-kr 779,39	kr -	-kr 779,39	-369,931
20	0,07447	-kr 819,13	-kr 250 000,00	-kr 250 819,13	-114470,579

Vedlegg 2: Tabell årlige kostnader med preventivt vedlikehold

år	Sviktrate	Akutt vedlikehold	Total utskifting	Total kostnad	NPV
0	0	0			
1	0,00240	-kr 26,41	kr -	-kr 26,41	-25,395
2	0,00260	-kr 28,62	kr -	-kr 28,62	-26,463
3	0,00280	-kr 30,83	kr -	-kr 30,83	-27,411
4	0,00300	-kr 33,04	kr -	-kr 33,04	-28,246
5	0,00321	-kr 35,26	kr -	-kr 35,26	-28,977
6	0,00341	-kr 37,47	kr -	-kr 37,47	-29,610
7	0,00361	-kr 39,68	kr -	-kr 39,68	-30,152
8	0,00381	-kr 41,89	kr -	-kr 41,89	-30,607
9	0,00401	-kr 44,10	kr -	-kr 44,10	-30,984
10	0,00421	-kr 46,31	kr -	-kr 46,31	-31,286
11	0,00441	-kr 48,52	kr -	-kr 48,52	-31,519
12	0,00461	-kr 50,73	kr -	-kr 50,73	-31,687
13	0,00481	-kr 52,94	kr -	-kr 52,94	-31,797
14	0,00501	-kr 55,15	kr -	-kr 55,15	-31,850
15	0,00522	-kr 57,37	-kr 250 000,00	-kr 250 057,37	-138847,979
16	0,00240	-kr 26,41	kr -	-kr 26,41	-14,101
17	0,00260	-kr 28,62	kr -	-kr 28,62	-14,694
18	0,00280	-kr 30,83	kr -	-kr 30,83	-15,220
19	0,00300	-kr 33,04	kr -	-kr 33,04	-15,684
20	0,00321	-kr 35,26	kr -	-kr 35,26	-16,090

Vedlegg 3: Tabell årlige kostnader med fuktmåling

År	Sviktrate	Akutt vedlikehold	Planlagt vedlikehold	Total utskiftning	Investeringsskost	Total kost	NPV
0					- 10000,00	-10000,00	-10000
1	0,00240	-5,28	-11,52	0,00	0,00	-16,81	-16,16
2	0,00260	-5,72	-12,49	0,00	0,00	-18,21	-16,84
3	0,00280	-6,17	-13,45	0,00	0,00	-19,62	-17,44
4	0,00300	-6,61	-14,42	0,00	0,00	-21,03	-17,97
5	0,00321	-7,05	-15,38	0,00	0,00	-22,44	-18,44
6	0,00341	-7,49	-16,35	0,00	0,00	-23,84	-18,84
7	0,00361	-7,94	-17,31	0,00	0,00	-25,25	-19,19
8	0,00381	-8,38	-18,28	0,00	0,00	-26,66	-19,48
9	0,00401	-8,82	-19,24	0,00	0,00	-28,06	-19,72
10	0,00421	-9,26	-20,21	0,00	0,00	-29,47	-19,91
11	0,00441	-9,70	-21,17	0,00	0,00	-30,88	-20,06
12	0,00461	-10,15	-22,14	0,00	0,00	-32,28	-20,16
13	0,00481	-10,59	-23,10	0,00	0,00	-33,69	-20,23
14	0,00501	-11,03	-24,07	0,00	0,00	-35,10	-20,27
15	0,00522	-11,47	-25,03	0,00	0,00	-36,51	-20,27
16	0,00542	-11,92	-26,00	0,00	0,00	-37,91	-20,24
17	0,00562	-12,36	-26,96	0,00	0,00	-39,32	-20,19
18	0,00582	-12,80	-27,93	0,00	0,00	-40,73	-20,10
19	0,00602	-13,24	-28,89	0,00	0,00	-42,13	-20,00
20	0,00622	-13,68	-29,86	-250000,00	0,00	-250043,54	-114116,61