

# Beslutningsstøtteverktøy for integrert miljødesign i nybygg

**Ole Aksel Sivertsen**

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juli 2009

Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT

Biveileder(e): Rasmus Høseggen, EPT  
Kjell Hantho, eta energi as



# Oppgavetekst

Å være tiltakshaver med planer om å sette i gang et stort prosjekt er en krevende rolle. I en anbudskonkurranse er det ofte store dokumenter fra hver anbyder, og det er mange faktorer som spiller inn på valget av endelig løsning. I en slik sammenheng vil det derfor være en stor fordel å benytte et verktøy som kan behandle et stort antall faktorer. Med utgangspunkt i metoden AHP (Analytisk Hierarki Proses) skal kandidaten utvikle et hensiktsmessig beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen som kan ta for seg så vel kvalitative som kvantitative faktorer og behandle disse på en oversiktlig måte.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

- Innledningsvis skal kandidaten gjøre en detaljert og grundig vurdering av hvor hensiktsmessig og fornuftig Saaty's 1-9 skala er i sammenheng med et beslutningsverktøy for byggebransjen.

- Deretter skal kandidaten overføre det eksisterende forslag til AHP-program fra Microsoft Excel til et databasehåndteringssystem, for eksempel Microsoft Access eller lignende.

- Avslutningsvis er det ønskelig at det utvikles en brukermanual til programmet for å lette overgangen fra regneark til databaser.

Oppgaven gitt: 10. februar 2009

Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT





POSTADRESSE

NTNU  
INSTITUTT FOR ENERGI OG  
PROSESSTEKNIKK  
Kolbjørn Hejes vei 1A  
N-7491 Trondheim - NTNU

TELEFONER

Sentralbord NTNU: 73 59 40 00  
Instituttkontor: 73 59 27 00  
Vannkraftlaboratoriet: 73 59 38 57

TELEFAX

Instituttkontor: 73 59 83 90  
Vannkraftlaboratoriet: 73 59 38 54

Rapportens tittel Beslutningsstøtteverktøy for integrert miljødesign i nybygg	Dato 3. juli 2009
	Antall sider og bilag 101 sider
Forfatter Stud. techn. Ole Aksel Sivertsen	Ansv. sign.
Avdeling	Prosjektnummer
ISBN nr.	Prisgruppe
Oppdragsgiver NTNU og Eta Energi AS	Oppdragsgivers ref.

Ekstrakt

Byggebransjen er i stadig endring, og vi lever i et samfunn hvor brukere stiller høyere krav til kvalitet på bygg, enten det er boliger, kontorlokaler eller industri. Å ta de riktige beslutningene tidlig i byggeprosjektene er vesentlig for at det endelige resultatet blir godt. Dette krever god planlegging og de riktige verktøyene for å enes om hva som bør gjøres, og hvordan.

Målet med denne masteroppgaven er å utvikle et relevant beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen, med utgangspunkt i metoden Analytisk Hierarki Prosess (AHP). Gjennom arbeidet med oppgaven er metoden AHP grundig vurdert og sammenlignet med andre metoder, med mål om å vurdere om den er relevant for verktøyet. Det er spesielt skalaen som AHP er bygd på som er blitt diskutert. På bakgrunn av gjennomgangen av AHP er det kommet frem til at metoden er gunstig for bruk i et verktøy rettet mot byggebransjen.

Videre er derfor et slikt verktøy utviklet i Microsoft Excel. Det bygger på et eksisterende verktøy utviklet av Eta Energi AS, men kommer med vesentlige endringer. Mange av endringene består i å senke brukerterskelen på verktøyet, slik at sjansen er større for at det blir tatt i bruk. Det innebærer blant annet en mer intuitiv oppbygning av verktøyet, navigasjonsknapper for enklere navigering, nye forklaringer på faktorene som vurderes, samt estetiske endringer. I tillegg er det lagt til rette for lagring av data i Microsoft Access slik at man etterhvert kan bygge opp en database av tidligere erfaringer.

Tilslutt er det utarbeidet en detaljert brukermanual for verktøyet. Denne beskriver gangen i verktøyet i detalj og er rikt illustrert med skjermbilder og eksempler. En kort presentasjon av AHP er tatt med innledningsvis. Brukermanualen er også med på senke brukerterskelen og heve kvaliteten på verktøyet som helhet.

	Stikkord på norsk	Indexing Terms English
Gruppe 1	Analytisk hierarki prosess	Analytic hierarchy process
Gruppe 2	Beslutningsstøtteverktøy	Decision-support tools
Egenvalgte stikkord	AHP	AHP
	Beslutninger i byggeprosjekt	Decisions in building projects
	Brukermanual	User's manual





## MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Ole Aksel Sivertsen

Våren 2009

### **Beslutningsstøtteverktøy for integrert miljødesign i nybygg**

*Decision-support system suitable for designing green buildings*

#### **Bakgrunn**

Med fokus på dagens klimaendringer vil de fleste større selskaper se viktigheten av å ta et miljøansvar for sine nybygg. Mange selskaper har flotte visjoner og mål innen dette området. Allikevel opplever vi manglende vilje til handling. Hva dette skyldes er ikke åpenbart for viljen er jo tydelig til stede hos seriøse utbyggere.

Årsaken kan delvis bero på at det beror på usikkerhet i forhold til et komplisert fagområde hvor feil valg kan få store konsekvenser. Dermed velges konservative standardløsninger som ofte er lite miljøvennlige og heller ikke energieffektive. I en prosjektoppgave høsten 2008 har kandidaten tatt for seg disse problemstillingene og det er nå ønskelig å videreføre dette arbeidet i form av en Masteroppgave.

#### **Mål**

Å være tiltakshaver med planer om å sette i gang et stort prosjekt er en krevende rolle. I en anbudskonkurranse er det ofte store dokumenter fra hver anbyder, og det er mange faktorer som spiller inn på valget av endelig løsning. I en slik sammenheng vil det derfor være en stor fordel å benytte et verktøy som kan behandle et stort antall faktorer.

Med utgangspunkt i metoden AHP (Analytisk Hierarki Prosess) som utgangspunkt skal kandidaten utvikle et hensiktsmessig beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen som kan ta for seg så vel kvalitative som kvantitative faktorer og behandle disse på en oversiktlig måte.

#### **Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter**

1. Innledningsvis skal kandidaten gjøre en detaljert og grundig vurdering av hvor hensiktsmessig og fornuftig Saaty's 1-9 skala er i sammenheng med et beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen. Det kan da være relevant at Saaty's numeriske skala sammenholdes med den verbale beskrivelsen og verdisetningen som anvendes.
2. Deretter skal kandidaten overføre det eksisterende forslag til AHP-program fra Microsoft Excel til et databasehåndteringssystem, for eksempel Microsoft Access eller lignende. Dette fordi fordelene med databaser kontra regneark er at man kan håndtere større mengder data mer effektivt, sikkert og motsetningsfritt samtidig som det gir større muligheter for lagring av data som kan hentes frem igjen senere.





3. Avslutningsvis er det ønskelig at det utvikles en brukermanual til programmet for å lette overgangen fra regneark til databaser. Dette vil være en forutsetning for å oppnå en tilfredsstillende brukerterskel når metoden AHP (Analytisk Hierarki Prosess) skal benyttes som beslutningsstøtteverktøy.

-- " --

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sendte instituttet en detaljert fremdriftsplan for oppgaven (*planlagte aktiviteter med tidsplan for fremdrift*) til evaluering og diskusjon med faglig ansvarlig og veileder.

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

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. (For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og evt. figurnummer.)

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e).

Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesseteknikk. Det forutsettes videre at kandidaten retter seg etter arbeidsreglement på bygg og bedrifter som eventuelt besøkes eller inngår i undersøkelsen, samt etter eventuelt andre pålegg fra den ansvarlige ledelse. Det tillates ikke at kandidaten griper inn i betjeningen av anlegg, installasjoner og lignende uten etter avtale med ansvarshavende.

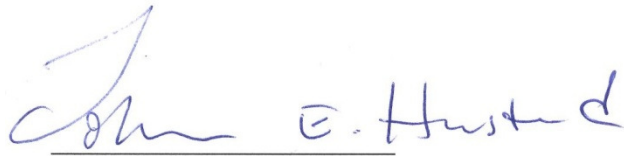
I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater i undervisnings- og forskningsformål, samt til publikasjoner.

Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. (Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maks. en maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

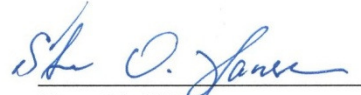
Til Instituttet innleveres to - 2 komplette, kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til evt. medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til, de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.



Institutt for energi og prosessteknikk, 10.februar 2009



Johan E. Hustad  
Instituttleder



Sten Olaf Hanssen  
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e):

Post.doc., PhD Rasmus Høseggen, Institutt for energi- og prosessteknikk, NTNU



## Forord

Denne rapporten er resultat av en masteroppgave ved institutt for energi- og prosesseteknikk ved NTNU. Oppgaven er utviklet i samarbeid med Eta Energi AS i Haugesund.

Det bør nevnes at jeg i forbindelse med arbeidet med denne masteroppgaven har jeg brukt en del tid på å tilegne meg kunnskap om Microsoft Access. Dette kommer ikke tydelig frem i rapporten, da jeg valgte å angripe problemstillingen på en annen måte enn det som først var planlagt. Kunnskapen jeg tilegnet meg i Microsoft Access har likevel kommet til nytte, men ikke i like stor grad som opprinnelig tenkt.

Jeg ønsker å takke hovedveileder professor Sten Olaf Hanssen for veiledning og hjelp i arbeidet med denne oppgaven. Jeg ønsker også å takke medveileder post. doc. PhD Rasmus Høseggen fra NTNU og ekstern veileder Kjell Hantho fra Eta Energi AS for deres medvirkning.

Trondheim, 3. juli 2009.



Stud. techn. Ole Aksel Sivertsen



## Sammendrag

Byggebransjen er i stadig endring, og vi lever i et samfunn hvor brukere stiller høyere krav til kvalitet på bygg, enten det er boliger, kontorlokaler eller industri. Samtidig er det i dag en tendens til at byggherre ønsker å ha fokus på miljø når de skal bygge nytt. Dette krever mer av de som utfører arbeidet med å sette opp nybygg. For at de skal lykkes må man ha samarbeid på tvers av de tradisjonelle yrkene i form av større samhandling og interaksjon mellom for eksempel byggherre, arkitekter, entreprenør og rådgivende ingeniører. Å ta de riktige beslutningene tidlig i prosjektene er vesentlig for at det endelige resultatet blir godt. Dette krever god planlegging og de riktige verktøyene for å enes om hva som bør gjøres, og hvordan.

Målet med denne masteroppgaven er å utvikle et relevant beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen, med utgangspunkt i metoden Analytisk Hierarki Proses (AHP). AHP er utviklet av dr. Thomas L. Saaty fra USA. Med et beslutningsstøtteverktøy basert på AHP har man et kraftig og fleksibelt verktøy som hjelper en beslutningstaker til å sette prioriteringer og tidlig velge den beste løsningen på et komplekst problem, når både kvalitative og kvantitative aspekter av avgjørelsen skal behandles. AHP er etter nøye vurdering vurdert som en meget hensiktsmessig metode å bygge et beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen på.

Et slikt verktøy er blitt utviklet gjennom arbeidet med denne masteroppgaven. Det baserer seg på et eksisterende verktøy utviklet av Eta Energi AS, men kommer med vesentlige endringer. Det eksisterende verktøyet er bygd i Microsoft Excel. I verktøyet presenteres beslutningstaker (for eksempel byggherre) for en rekke faktorer som er relevante i et byggeprosjekt. Disse faktorene er organisert i et hierarki og skal av beslutningstaker vurderes parvis mot hverandre ut fra viktighet. Deretter skal ulike løsninger på prosjektet (for eksempel ulike anbud) vurderes parvis mot hverandre i forhold til hver av faktorene. På denne måten får beslutningstaker et svar på hvilken løsning som er best for akkurat dette prosjektet.

Under arbeidet ble det vurdert å ta i bruk Microsoft Access som programvare for hele verktøyet. Dette fordi man i større grad kan lagre informasjon til senere bruk i Access. Access viste seg å ikke være hensiktsmessig å bruke for selve vurderingene av faktorer, og løsningen med Excel som grunnlag ble beholdt og videreutviklet. I stedet er det utarbeidet en løsning for eksport av relevante data fra Excel til Access, slik at man kan dra nytte av fordelene som databaser representerer.

Et mål med et beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen må være at brukerterskelen er lav, slik at verktøyet blir brukt. Derfor er det gjort en rekke endringer i det eksisterende verktøyet for å senke brukerterskelen:





- Arkene som verktøyet består av er sortert kronologisk for å gjøre forståelsen av prosessen bedre for beslutningstaker.
- Det er lagt til navigasjonsknapper for enklere navigering.
- Det er lagt inn nye forklaringer på de ulike faktorene i programmet.
- Det er laget knapper for å slette henholdsvis alle prioriteringer som er gjort i verktøyet og alle alternativer som er lagt til av beslutningstaker.
- Enkelte celler har fått endret format slik at man, når man ønsker det, får brøk i stedet for desimaltall der det er mulig.
- Generelle "ansiktsløftninger" er gjort for at verktøyet skal se tydeligere ut. Dette omfatter blant annet bedre tekstforklaring i enkelte celler.
- Alle celler som ikke skal endres av beslutningstaker er låst slik at formler og utseende ikke skal kunne endres ved uhell.

I tillegg til disse endringene er det også laget en brukermanual til verktøyet. Denne beskriver detaljert hvordan verktøyet skal brukes, metoden det bygger på og matematikken som ligger til grunn for beregningene. I tillegg illustreres bruken med eksempler og bilder for å tydeliggjøre viktige aspekter av verktøyet.

Det redigerte verktøyet er vedlagt rapporten elektronisk som excelfil med navn **AHPmodell.xlsm** for makrokompatibel programvare og **AHPmodell.xls** for eldre versjoner av Excel. Databasen er vedlagt som Accessfil med navn **Tidligere vurderinger.accdb**.



# Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Mål.....	1
1.3	Metode .....	2
1.4	Avgrensning og problemer underveis .....	2
1.5	Struktur.....	3
2	Analytisk hierarki prosess (AHP).....	5
2.1	Generelt om AHP .....	5
2.2	Fremgangsmåte.....	5
2.3	Viktige sider ved AHP .....	8
2.3.1	Parvis sammenligning.....	8
2.3.2	Fleksibilitet .....	8
2.3.3	Verbal skala .....	8
2.4	Diskusjon rundt Saaty's 1-9-skala.....	10
2.4.1	Kritikk mot Saaty's 1-9-skala .....	10
2.4.2	Forsvar av Saaty's 1-9-skala.....	11
2.4.3	Hvilken tallskala bør brukes i beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen? .....	12
2.5	Andre metoder .....	13
2.5.1	Nyttefunksjonsbasert metode: MAUT (Multi-Attribute Utility Theory).....	13
2.5.2	Verdifunksjonsbasert metode: SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique).....	13
2.5.3	Outranking: ELECTRE .....	14
2.5.4	Goal programming.....	15
2.5.5	AHP versus andre metoder .....	15
2.6	Vurdering av AHPs relevans som beslutningsstøtteverktøy i byggebransjen.....	17
2.6.1	Hvordan vil AHP brukes i et verktøy for byggebransjen?.....	17
2.6.2	AHP i forhold til organisering i byggeprosjektet.....	17

2.6.3	Eksempler på bruk av AHP i byggeprosjekter.....	18
2.6.4	Oppsummering av AHPs relevans i byggeprosjekter .....	19
3	Eta Energis beslutningsstøtteverktøy.....	21
3.1	Presentasjon av Eta Energis opprinnelige beslutningsstøtteverktøy.....	21
3.1.1	Hierarki .....	21
3.1.2	Prioritering av faktorer .....	22
3.1.3	Vurdering av alternative løsninger med henblikk på de ulike faktorene.....	23
3.1.4	Begrensninger.....	23
3.2	Vurderinger av programvare i ny versjon av Eta Energis beslutningsstøtteverktøy.....	25
3.2.1	Valg av programvare .....	25
3.2.2	Vurderinger av Excel kontra Access .....	25
3.2.3	Vurderinger i Excel – Lagring i Access. ....	26
3.3	Nye løsninger i Eta Energis beslutningsstøtteverktøy.....	28
3.3.1	Muliggjøre eksport av data.....	28
3.3.2	Endring av rekkefølge på arkene .....	29
3.3.3	Innføring av knapper .....	30
3.3.4	Nye forklaringer i hierarkiet .....	30
3.3.5	Ny vurdering av faktorer i hierarkiet.....	31
3.3.6	Andre endringer .....	31
3.4	Arbeid med brukermanual til Eta Energis beslutningsstøtteverktøy.....	32
3.5	Diskusjon rundt Eta Energis beslutningsstøtteverktøy og dets relevans i byggebransjen....	33
4	Konklusjon .....	35
5	Videre arbeid.....	37
5.1	Innhente brukererfaringer .....	37
5.2	Vurdere relevansen av beslutningsstøtteverktøyet på bakgrunn av brukererfaringer .....	37
5.3	Videreutvikle beslutningsverktøyet i ny programvare.....	37
6	Kilder.....	39
7	Vedlegg.....	43

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Byggebransjen er i stadig endring, og vi lever i et samfunn hvor brukere stiller høyere krav til kvalitet på bygg, enten det er boliger, kontorlokaler eller industri. Samtidig er det i dag en tendens til at utbyggere ønsker å ha fokus på miljø når de skal bygge nytt. Dette krever mer av de som utfører arbeidet med å sette opp nybygg. For at de skal lykkes må man ha samarbeid på tvers av de tradisjonelle yrkene i form av større samhandling og interaksjon mellom for eksempel byggherre, arkitekter, entreprenør og rådgivende ingeniører. Å ta de riktige beslutningene tidlig i prosjektene er vesentlig for at det endelige resultatet blir godt. Dette krever god planlegging og de riktige verktøyene for å enes om hva som bør gjøres, og hvordan.

## 1.2 Mål

Målet med oppgaven er å utvikle et beslutningsstøtteverktøy som hjelper byggherre til å tydeliggjøre for seg selv og andre hva som er viktig (og uviktig) i et spesifikt prosjekt. På bakgrunn av hva byggherre har prioritert som viktig kan man deretter sammenligne de ulike anbudene til prosjektet på dette prioriteringsgrunnlaget. Håpet er at man på denne måten oppnår bedre bygg ved at man tar helheten i betraktning mer enn de enkelte områder i et prosjekt hver for seg. Dette kan videre gi muligheter til å ha flere faktorer enn økonomi som vurderingsfaktor i anbudskonkurranser. Faktorer som miljø, sikkerhet, brukervennlighet med flere gir byggherre mulighet til å tenke langsiktig i mye større grad ved å ta i bruk et slikt verktøy.

I en kronikk i Teknisk Ukeblad med den spørrende tittelen *Byggherrer med langsiktig perspektiv – gir det bedre bygg?* (Christoffersen, 2009) svarer administrerende direktør i Statsbygg, Øyvind Christoffersen, seg selv:

*”Ja, det gir bedre bygg!”... ”Bedre bygg blir god butikk for kundene og brukerne våre, og selvfølgelig for oss. Samfunnet kan også være viss på at gjennom å stille de riktige kravene bidrar Statsbygg f. eks til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene og skape seriøsitet i næringen.”... ”Det må bli slutt på båstenkingen! Det blir ikke bedre bygg hvis man ikke samarbeider på tvers av fagene, både hos de prosjekterende og entreprenørene.”*

Et verktøy som gir Statsbygg (og alle andre byggherrer) muligheten til å tenke helhetlig og samtidig bevare oversikten, vil bidra til bedre bygg og fordeler for eiere, brukere, entreprenører og for samfunnet som helhet.

### **1.3 Metode**

Som underlag for verktøyet vurderes metoden Analytisk hierarki prosess (AHP) som relevant. Fra før finnes det et verktøy i Microsoft Excel som bygger på AHP. Dette verktøyet danner grunnlaget for det nye verktøyet som er utviklet i denne masteroppgaven. Videre er det planlagt å se på mulighetene for lagring av data i et databasehåndteringssystem, for eksempel Microsoft Access. Ved å overføre data fra Microsoft Excel til Microsoft Access vil verktøyet kunne lagre informasjon på en mye mer oversiktlig måte.

For å senke brukerterskelen er det også utarbeidet en brukermanual som kan hjelpe nye brukere av beslutningsstøtteverktøyet til å forstå hvordan det skal brukes.

### **1.4 Avgrensning og problemer underveis**

Mye av arbeidet i denne oppgaven har for forfatteren sin del bestått i å tilegne seg kunnskap innenfor databaser og Microsoft Access, som i samråd med veiledere ble vurdert som det riktige programmet å bruke for å lage en databaseløsning. Forfatteren hadde fra før lite kjennskap til databaser generelt og Microsoft Access spesielt, men kjente til andre Microsoftprodukter.

Utgangspunktet for denne masteren var i starten å se om det var mulig å lage et komplett verktøy i Access, hvor alle prioriteringer og beregninger, samt lagring ble gjort. Etter å ha tilegnet grunnleggende kunnskap i Access og prøvd å angripe oppgavens problemstilling på flere måter, ble det kommet frem til at dette ikke var mulig med den tid og kunnskap som forfatteren besitter. Access er ikke bygd for så omfattende beregninger som verktøyet krever. Bakgrunnen for dette er nærmere redegjort for i kapittelet *3.2 Vurderinger av programvare i det redigerte verktøyet*. Løsningen som presenteres bygger i stedet videre på det eksisterende verktøyet i Excel, men med flere modifikasjoner. I dette verktøyet er det blant annet lagt til rette for eksport av relevante data til Access ved å samle disse dataene på en måte som gjør at Access kan ta i bruk dem. På denne måten kan databaser tas i bruk som lagringsmedium for prioriteringer samtidig som vurderinger gjøres i excelverktøyet.

I tillegg til arbeidet med verktøyet er det også brukt en del tid på å se på metoden bak verktøyet, AHP, og dens relevans i denne sammenhengen. Tilslutt er det produsert en brukermanual som skal fungere som støtte for brukere av verktøyet, og sørge for en lavere brukerterskel.

## 1.5 Struktur

Rapporten består av 2 hoveddeler:

1. Den første hoveddelen omhandler metoden Analytisk hierarki prosess (AHP), som verktøyet bygger på. Denne delen består av innføring av AHP, fremgangsmåte, fordeler/ulemper, kritikk av skalaen som AHP bygger på, vurdering av andre relevante metoder og en diskusjon rundt AHPs relevans i byggeprosjekter.
2. Den andre hoveddelen omhandler arbeidet med Eta Energis beslutningsstøtteverktøy. Her presenteres det eksisterende verktøyet, vurderinger omkring valg av programvare for det nye verktøyet samt resultater av arbeidet med det nye verktøyet. Tilslutt gjennomgås noen idéer rundt brukermanualen og tanker rundt arbeidet med den.

Tilslutt kommer kapitlene for konklusjon og videre arbeid. Brukermanualen er presentert i vedlegg 1.





## 2 Analytisk hierarki prosess (AHP)

Denne delen av rapporten består av innføring av AHP, fremgangsmåte, fordeler/ulemper, kritikk av skalaen som AHP bygger på, vurdering av andre relevante metoder og en diskusjon rundt AHPs relevans i byggeprosjekter.

### 2.1 Generelt om AHP

*Analytisk hierarki prosess* (Analytic Hierarchy Process, AHP) (Saaty, 1980) er en metode innenfor disiplinen *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) eller *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) som skal hjelpe en beslutningstaker med å gjøre de riktige valgene i en beslutningsprosess. Beslutningstaker kan bruke AHP til å sette prioriteringer og velge den beste løsningen på et komplekst problem, når både kvalitative og kvantitative aspekter av avgjørelsen skal behandles. Metoden ble utviklet i USA av dr. *Thomas L. Saaty* mens han var professor ved Wharton School of Business på 1970-tallet (Expert Choice, 2009), og har blitt forbedret gjennom de siste tiårene. I 1983 inngikk Saaty et samarbeid med dr. Ernest Forman for å utvikle et dataprogram som benytter seg av teorien bak AHP. Dette programmet fikk navnet *Expert Choice*. Programmet har sågar gitt navn til selskapet Expert Choice, og produktene kan benyttes av privatpersoner så vel som multinasjonale konserner (Expert Choice, 2009).

### 2.2 Fremgangsmåte

Gjennom programvare som for eksempel Expert Choice kan beslutningstaker tydeliggjøre for seg selv og andre hvilke *prioriteringer* han eller hun ønsker å gjøre, og hvilke *alternative løsninger* som best besvarer disse prioriteringene. Metoden er spesielt nyttig når informasjonsmengden er stor, når det er mange faktorer som spiller inn og det er mange alternative løsninger.

Fremgangsmåten for AHP kan kort oppsummeres i disse punktene:

1. **Definere problemet** som skal løses.
2. **Definere hvilke faktorer** som kan spille en rolle i beslutningsprosessen mot å løse problemet beskrevet i punkt 1. Er det mange faktorer kan det være hensiktsmessig å gruppere dem i et hierarki.
3. **Vurdere alle faktorene parvis** mot hverandre med tanke på viktighet. Hvis faktorene er satt opp i et hierarki med flere nivåer, vurderes bare faktorer på samme nivå mot hverandre. Faktorene vurderes etter skalaen presentert i Tabell 1. Man har både en numerisk og en

verbal skala<sup>1</sup>. Den verbale skalaen korresponderer med den numeriske, og er ment å være til hjelp i vurderingsprosessen.

Tabell 1: Den verbale skalaen som benyttes i programmet (Saaty, 1980)

Numerisk	Verbal (Engelsk)	Verbal (Norsk)
1	Equal importance	Lik viktighet
3	Moderate more important	Klart viktigere
5	Strongly more important	Mye viktigere
7	Very strongly more important	Veldig mye viktigere
9	Extremely more important	Ubetinget mye viktigere

Når man vurderer i AHP forteller ikke bare vurderingen hvilken faktor som er viktigst, men også *hvor mye* viktigere den er i forhold til den andre. I et sett med mange faktorer vil man da etterhvert som vurderingene gjøres få en oversikt over hvor viktige de ulike faktorene er i den totale sammenhengen.

Dette gjøres ved å beregne geometrisk gjennomsnitt og *eigenvektor*<sup>2</sup> for hver faktor. I et sett med tre faktorer vil hver faktor bli vurdert tre ganger: I forhold til seg selv og i forhold til de to andre. Da beregnes geometrisk gjennomsnitt (GM) slik:

$$GM = \sqrt[3]{(Vurdering1 \times Vurdering2 \times Vurdering3)}$$

Den normaliserte eigenvektoren (NE) beregnes slik:

$$NE_{Faktor\ i} = \frac{GM_{Faktor\ i}}{GM_{Faktor\ 1} + GM_{Faktor\ 2} + GM_{Faktor\ 3}}$$

---

<sup>1</sup> Den norske verbale skalaen er utarbeidet i fordypningsprosjektet til denne masteroppgaven. Mer om denne finnes i vedlegg 2.

<sup>2</sup> *Eigenvektor* eller *eigenvector* defineres som en vektor som ved lineær transformasjon kan endre lengde men vil beholde den samme retningen. For hver *eigenvector* av en lineær transformasjon er det en korresponderende skalarverdi som betegnes som *eigenvalue* eller *egenverdi* (Weisstein, 1999). Mer om *eigenvector* og hvordan den beregnes er gitt i vedlegg 3.

4. **Kontrollere** at man er **konsekvent** i vurderingene. I vurderingsprosessen finnes det mekanismer for å unngå at man er inkonsekvent i vurderingene, og det er viktig at man er bevisst på dette underveis. Man er inkonsekvent når det ikke er samsvar mellom et sett med vurderinger, og i de fleste verktøy beregnes en faktor for inkonsekvent vurdering. Denne er basert på egenvektorene til de ulike faktorene, presentert i punkt 3. Et enkelt eksempel på hvordan man kan være inkonsekvent er hvis man skal vurdere hvilken frukt man synes er best av for eksempel eple, pære og appelsin. Om man synes eple er tre ganger så godt som pære, og appelsin videre er tre ganger så godt som eple, så er man inkonsekvent hvis man ikke sier at man synes appelsin er ni ganger så godt som pære. Mer om hvordan faktoren for inkonsekvens beregnes er gitt i vedlegg 3.
5. **Definere** ulike **løsninger** på problemet som skal løses med modellen.
6. **Vurdere** de ulike **løsningene** *parvis* mot hverandre med tanke på hvordan de besvarer hver **enkeltfaktor**. I et hierarki er det kun faktorene i nederste nivå av hierarkiet som det blir vurdert i forhold til. Om man for eksempel har to alternativer til løsninger på et problem, så vurderer man de to alternativene i forhold til en faktor om gangen. Dette gjøres mot alle faktorene helt til man har vurdert de to alternativene mot hver faktor i nedre del av hierarkiet. Igjen er det mekanismer for å unngå at man er inkonsekvent i vurderingene.
7. **Registrere resultatene** fra vurderingene. Man får en rangering av de ulike løsningene på problemet som er bestemt av vurderingene i steg 3 og 6. Løsning med høyest score, er den løsningen som best oppfyller beslutningstakers preferanser.

En grundig gjennomgang av disse punktene er beskrevet i fordypningsprosjektet som ble gjort i forkant av denne masteroppgaven. Et utdrag fra dette fordypningsprosjektet presenteres i vedlegg 3.

## 2.3 Viktige sider ved AHP

Den store fordelen med å bruke MCDA-verktøy er at man får oversikt over komplekse problemer, og kan behandle disse på en måte som gir trygge beslutninger. Ulike metoder har ulike fordeler, men AHP skiller seg fra andre MCDA på flere viktige områder:

### 2.3.1 Parvis sammenligning

Den parvise sammenligningen mellom hver enkeltfaktor gjør det mulig å vurdere nesten hva det skulle være mot hverandre. Ved å gjøre en subjektiv vurdering av hva som er viktigst av to faktorer, er det mulig å ta hensyn til så vel kvalitative som kvantitative faktorer.

Når man vurderer i AHP forteller ikke vurderingen bare hvilken faktor som er viktigst, men også *hvor mye* viktigere den er i forhold til den andre. I et sett med mange faktorer vil man da etterhvert som vurderingene gjøres få en oversikt over hvor viktige de ulike faktorene er i den totale sammenhengen.

Den parvise sammenligningen gjør det også enkelt og intuitivt for personer med ulik bakgrunn å gjøre vurderingene. Det kreves liten eller ingen forkunnskap om metodens oppbygning for å kunne gjøre de grunnleggende vurderingene. Dette gjør AHP til en foretrukket metode i mange sammenhenger.

### 2.3.2 Fleksibilitet

Metoden AHP er fleksibel, og lar beslutningstaker sette sine egne prioriteringer om hva som er viktigst før ulike alternativer skal vurderes. Dette er en styrke hvis man har et team med ulike preferanser som sammen skal komme frem til en beslutning. I følge forfatterene av artikkelen *Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings* (Hsieh, Lu, & Tzeng, 2004) er dette essensielt i et byggeprosjekt, for å sikre at man kommer frem til den riktige beslutningen. Lar man arkitekten, ingeniøren, fremtidig bruker, fremtidig eier og fremtidig driftsansvarlig gjøre en vurdering av hva som er viktigst i et nytt byggeprosjekt, vil de sannsynligvis komme frem til forskjellige svar. Ved å bruke en modell basert på AHP lar man de ulike aktørene komme frem til hva de selv synes er viktigst, for deretter å vurdere ulike alternativer eller tilbud med hensyn på sin subjektive/faglige mening. På denne måten kan det være ulike alternativer som står igjen som det beste, og i så tilfelle har man et godt grunnlag for å diskutere hvilket man tilslutt skal gå for.

### 2.3.3 Verbal skala

Der andre MCDA-metoder kan virke tunge og kompliserte, har AHP den fordelen at brukerterskelen er lav. Mange eksperter på AHP, blant annet Pöyhönen, Hämmäläinen, & Salo trekker frem muligheten for å bruke verbale uttrykk for å avgjøre hvor mye viktigere en faktor er enn en annen som en av de

store fordelene med AHP (Pöyhönen, Hämmäläinen, & Salo, 1997). I stedet for å gjøre vurderingene ved hjelp av tall, benytter man i stedet uttrykk for å si hvor viktig en faktor er i forhold til en annen og disse uttrykkene har korresponderende verdier som brukes i modellen. For personer uten realfagsbakgrunn kan dette være avgjørende for at man gjør riktige beslutninger.

Selv om den verbale skalaen ofte blir trukket frem som AHPs styrke i forhold til andre metoder, går også mye av kritikken mot AHP på bruken av denne. Et spørsmål som går igjen er hvordan man sikrer seg at en beslutningstaker har samme oppfatning av "verdien" på et ord som en annen beslutningstaker? Dette er et meget relevant spørsmål, og det er gjort mye arbeid for å belyse problematikken rundt dette. De verbale uttrykkene ble satt under kritikk tidlig, og for å besvare noe av kritikken mot denne skalaen har Saaty senere revidert den verbale skalaen ved å bytte ut "*Weakly*" med "*Moderate*" og "*Absolute*" med "*Extremely*" (Pöyhönen, Hämmäläinen, & Salo, 1997).

Hvordan den verbale skalaen korresponderer med den numeriske er også blitt kritisert. Dette omhandles i kapittel 2.4.1 og 2.4.2.

## 2.4 Diskusjon rundt Saaty's 1-9-skala

Noe av det som har vært mest diskutert i forbindelse med AHP er Saaty's 1-9-skala. Tallskalaens oppbygning er blitt beholdt siden AHP ble presentert i 1980, og det er sådd tvil om fordelingen av tallene er riktig.

### 2.4.1 Kritikk mot Saaty's 1-9-skala

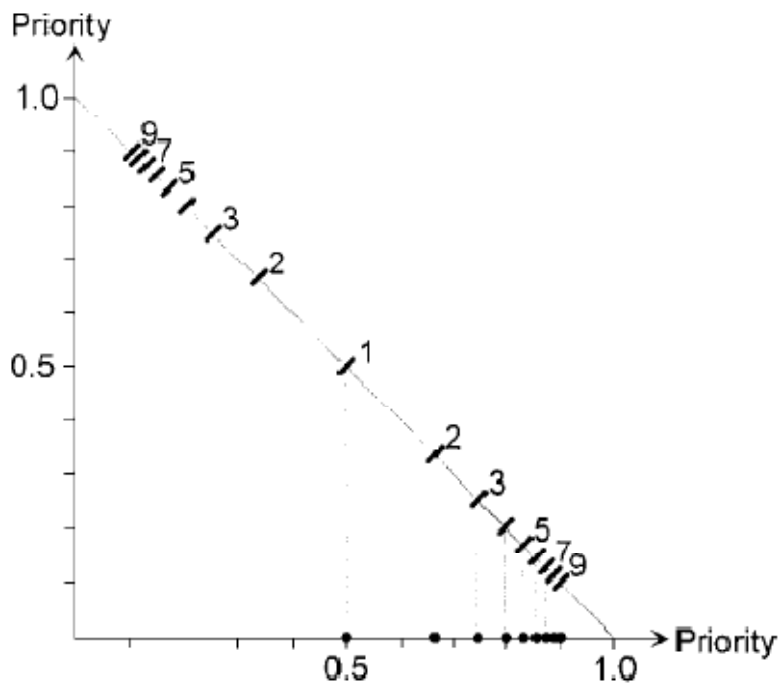
Flere forskere mener at de grep som Saaty har tatt ved å endre noen av de verbale uttrykkene ikke er nok. I artikkelen *An Experiment on the Numerical Modelling of Verbal Ratio Statements* (Pöyhönen, Hämmäläinen, & Salo, 1997) konkluderer forfatterene med at 1-9-skalaen ikke bør brukes mot den tradisjonelle verbale skalaen som Saaty har utviklet. I stedet viser de til artikkelen *On the Measurement of Preferences in the Analytic Hierarchy Process* (Salo & Hämmäläinen, 1997) hvor man har kommet frem til en balansert skala som de mener i større grad stemmer overens med virkelige vurderinger ut fra eksperimenter de har gjort. Kritikken mot 1-9-skalaen går på at forskjellen på effekten av å endre vektingene er ulike. Dette kan tydeliggjøres ved å plote lokale prioriteringer,  $w$ , gitt av:

$$w = (w_1, w_2)$$

$$\text{der } w_1 = 1/(r + 1), w_2 = r/(r + 1)$$

og  $r$  er vektingene; ( $r = \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \dots, \frac{1}{2}, 1, 2, \dots, 8, 9$ ).

Plottingen er vist i Figur 1, og som man ser er det stor forskjell på å øke fra vekting 1 til 2 i forhold til vekting 8 til 9. I følge Salo & Hämmäläinen er effekten av å endre vektingen fra 1 til 2 hele 15 ganger så stor som effekten av å endre vektingen fra 8 til 9 (Salo & Hämmäläinen, 1997).



Figur 1: Spredning av lokale prioriteringer ved bruk av Saaty's opprinnelige skala for AHP

På bakgrunn av disse resultatene har Salo og Härmäläinen utviklet en balansert skala som gjør at endring fra hvilken som helst vektning til den neste på skalaen har like stor effekt. Dette har de gjort ved å regne ut en ny  $r$  ut fra en jevn spredning av de lokale prioritetene. ( $w = (0.1, 0.15, 0.2, \dots, 0.8, 0.85, 0.9)$ ). Den opprinnelige vektningsskalaen og den nye er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: Saaty's opprinnelige AHP-skala og den balanserte AHP-skalaen (Saló & Härmäläinen, 1997)

Opprinnelig 1-9-skala:	$r =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ny balansert skala:	$r =$	1,00	1,22	1,50	1,86	2,33	3,00	4,00	5,67	9,00

I følge undersøkelser gjort av Pöyhönen, Härmäläinen og Salo gir den balanserte skalaen mer nøyaktige resultater og mer konsistente sammenligninger. Likevel er de av den oppfatning at verktøy som har en mulighet for å kontrollere inkonsistente vurderinger, gjør det mulig å også bruke den opprinnelige skalaen. De påpeker dog at man ved bruk av *alle* verbale skalaer må utvise forsiktighet, da beslutningstakere kan ha forskjellig oppfatning av "verdien" av uttrykkene (Pöyhönen, Härmäläinen, & Salo, 1997).

#### 2.4.2 Forsvar av Saaty's 1-9-skala

Utviklerene av AHP og verktøyet Expert Choice, T. L. Saaty og E. Forman, forsvarer bruken av den opprinnelige skalaen, og denne er implementert i programmet Expert Choice. Saaty og Forman forsvarer bruken av skalaen med at *eigenvektoren* gir beslutningstaker muligheten til å registrere om

han er inkonsistent eller ikke. På denne måten har man oversikt over hvor inkonsekvent man er og videre unngår man problematikken som Pöyhönen, Hämmäläinen, & Salo skisserer. T. L. Saaty har anbefalt en grense på 10 % for denne inkonsekvensverdien (Saaty, 1980). I artikkelen *Excerpt from The Analytical Hierarchy Process—An Exposition* (Forman & Gass, 2008) gjennomgås dette i detalj, og Forman og Gass konkluderer med at bruk av 1-9-skalaen er uproblematisk så lenge kontrollmekanismene er tilstede.

Det finnes også andre forskere som forsvarer bruken av den opprinnelige tallskalaen. Blant annet vises det i artikkelen *Transitive calibration of the AHP verbal scale* (Finan & Hurley, 1999) til at ingen annen skala er blitt alment akseptert ennå. Frem til dette skjer, forsvarer forfatterene bruken av Saatys 1-9-skala på bakgrunn av den har vist seg å gi gode resultater gjennom erfaringer fra et stort antall eksperimenter.

### **2.4.3 Hvilken tallskala bør brukes i beslutningsstøtteverktøy for byggebransjen?**

Det er ønskelig med en enkel skala som beslutningstakere er godt kjent med fra før og som er enkel å bruke og enkel å forholde seg til i verktøyet. Sånn sett er den opprinnelige skalaen som best. Eigenvektorer og inkonsekvensverdi er derfor implementert i beslutningsstøtteverktøyet som er utviklet i denne masteroppgaven, slik at det er akseptabelt å bruke den opprinnelige 1-9-skalaen utviklet av Saaty.

Så lenge det er den samme beslutningstaker som gjør alle vurderingen i et sett av vurderinger, vil heller ikke problemet med ulik forståelse av verdien eller viktigheten av et verbalt uttrykk gi store utslag på det endelige resultatet.



## 2.5 Andre metoder

Det er relevant å se på andre *Multi Criteria Decision Analysis*-metoder (MCDA-metoder) med tanke på bruk til et verktøy for byggebransjen. Her presenteres en kort oversikt over alternative metoder til AHP innenfor kategorien MCDA. I all hovedsak er det tre hovedvarianter innenfor kategorien MCDA:

1. *Verdi- eller nyttefunksjonsbaserte* metoder, som AHP er et eksempel på. Andre eksempler som vil bli vurdert nærmere er MAUT og SMART
2. *Outranking*-metoder, representert ved ELECTRE
3. *Goal Programming*-metoder.

### 2.5.1 Nyttefunksjonsbasert metode: MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)

MAUT er en systematisk metode for å identifisere og analysere mange variabler og komme opp med en beslutning, og er sammen med AHP av de mest utbredte beslutningsstøtteverktøyene. Nøkkelen i MAUT er å utvikle en multi-attributt nyttefunksjon som beskriver preferansene til beslutningstaker. I motsetning til AHP, hvor man benytter seg av en verdifunksjon, kan man ved hjelp av MAUTs nyttefunksjon få svar som vurderes ut i fra usikkerhet. På denne måten får man beslutningstakers holdning til risiko.

MAUT er innenfor MCDA sett på som den amerikanske måten å behandle komplekse problemer på, mens ELECTRE, som blir gjennomgått senere, blir sett på som den europeiske måten å behandle de samme problemer på (Jean Siskos, 2003).

MAUT er som nevnt meget utbredt, men stiller høyere krav til beslutningstaker enn for eksempel AHP. Den vurderes derfor ikke å være mer hensiktsmessig enn AHP i denne sammenhengen, da noe av målet med verktøyet er at det skal ha en lav brukerterskel.

### 2.5.2 Verdifunksjonsbasert metode: SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique)

Som en respons på at MAUT kan ha en litt for høy brukerterskel, ble SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) utviklet av W. Edwards i 1971. SMART er rett og slett en forenklet versjon av MAUT, men bruker i likhet med AHP verdifunksjoner i stedet for nyttefunksjoner. Dette gjør metoden enklere å sette seg inn i, og vurderingsprosedyrene blir mindre komplekse, noe som senker brukerterskelen for beslutningstaker. Det at metoden er enklere i bruk har også en hake, ved at forenklingene kan gi et mindre nøyaktig svar (Filho, Cavalcante, & da Costa, 2005).

Dette er i grove trekk stegene i SMART:

1. Identifiser beslutningstaker. Dette er viktig for å tilslutt få en riktig beslutning. Beslutningstakers oppfatning av de ulike vilkårene er avgjørende for hvordan beslutningene tas.
2. Identifiser problemet eller oppgaven som skal løses.
3. Sett opp de ulike alternative løsninger på problemet som skal evalueres.
4. Identifiser kriteriene som påvirker valg av alternativ.
5. Rangér kriteriene ut fra viktighet.
6. Vekt kriteriene med forholdstall.
7. Normaliser vektingen, slik at summen av kriteriene er 100. Dette gjøres ved å summere vektingen fra steg 6, del hver vekting på denne summen og multipliser med 100.
8. Vurdér hvor godt hvert alternativ besvarer kriteriene. Dette gjøres ved å gi hvert alternativ en score fra 0,0 til 1,0, hvor 0,0 er laveste nivå, og 1,0 er det idéelle nivå.
9. Kalkulér totalsum for hvert alternativ ved å multiplisere tallene fra steg 7 med tallene fra steg 8. Produktene for hvert kriterie summeres for å gi hvert alternativs totalscore. Det alternativ med høyest totalscore er, i følge modellen, det beste alternativ (University of Oklahoma , 2009).

SMART har, som gjennomgangen over viser, store likheter med AHP og er et godt alternativ til bruk i et beslutningsstøtteverktøy rettet mot byggebransjen.

### 2.5.3 Outranking: ELECTRE

ELECTRE er den mest utbredte MCDA-metoden som er utviklet i Europa, nærmere bestemt i Frankrike av Bernard Roy. Metoden ble første gang presentert i 1965 og ble utviklet på bakgrunn av et konkret behov hos bedrifter som ønsket å vurdere mulighetene for nye satsingsområder. Metoden er i dag meget utbredt i Frankrike, og har, i likhet med andre metoder, vært under konstant utvikling siden den første versjonen ble presentert. Leddene i utviklingen består av ELECTRE I, II, III, IV, V, ELECTRE IS og ELECTRE tri.

ELECTRE er en "outranking method". Det vil si at man vurderer alternativer parvis mot hverandre ved å avgjøre hvilken som betyr mest. Når man vurderer to alternativer etter denne metoden, har man to antydninger, *concordance index* og *discordance index*, som representerer argumentene for og i mot de to alternativene. Man vurderer så alternativene i mot antydningene.

Hvis man har to alternativer,  $z^a$  og  $z^b$  er *concordance index*,  $C$ , gitt av:

$$C(a, b) = \sum_{i: z_i^a \geq z_i^b} w_i$$

Det vises forøvrig til artikkelen *A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice* (Stewart, 1992) for en dyptgående analyse av ELECTRE. Metoden kan virke uoversiktlig og er sånn sett lite egnet som grunnlag for et beslutningsstøtteverktøy med mål om lav brukervennlighet.

#### 2.5.4 Goal programming

Goal programming ble utviklet på 1960-tallet av Charnes og Cooper, og ble raskt en populær måte å løse komplekse problemer på (Belaïd Aouni, 2001). Metoden lar beslutningstaker vurdere mange kriterier samtidig mens han vurderer ulike alternativer til løsning. Det at Goal Programming bygger på lineær matematikk med effektive algoritmer gjør den er enkel å bruke, og dette har gjort sitt til at metoden er populær og utbredt. Enkeltheten har den til felles med AHP.

Goal Programming har møtt en del kritikk vedrørende riktig vekting av faktorer, og enkelte forfattere har foreslått å bruke for eksempel AHP til dette formålet (Gass, 1987). Da vekting av faktorer er en essensiell del av modellen som utvikles gjennom denne masteroppgaven, er det uhensiktsmessig å ta i bruk Goal programming i denne sammenheng.

#### 2.5.5 AHP versus andre metoder

Av de metodene som her er vurdert, er det AHP og SMART som skiller seg ut som de beste metodene for bruk i et verktøy rettet mot byggebransjens byggherrer. Begge disse modellene lar beslutningstaker vurdere mange faktorer mot hverandre på en oversiktlig måte. Begge metodene er også enkle å bruke. Artikkelen *The multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a Common Context* (F. A. Lootsma \*, 1996) har gjort en grundig sammenligning av AHP, SMART og ELECTRE, gjennom en vurdering av hvor et atomkraftverk skal plasseres. Forfatterene fant en "oppmuntrende grad av likhet mellom resultatene fra AHP, SMART og ELECTRE". De utelukker likevel ikke at det kan være usikkerhet knyttet til dette resultatet, spesielt i forhold til ELECTRE, som har en helt annen måte å gjøre vurderingene på. Dette åpner for at sammenligningen mellom ELECTRE og de to andre metodene er gjort på feil grunnlag. En kan likevel anta at alle metodene er relevante og gode måter å gjøre beslutninger på, når resultatene blir såpass like.

ELECTRE, som er en "outranking"-metode kunne vært relevant for et beslutningsstøtteverktøy rettet mot byggebransjen, men den taper på at den ikke er enkel nok å forstå for førstegangsbrukere. Det samme gjelder MAUT, som SMART bygger på. Når det gjelder Goal programming, så har denne metoden et bra potensial, og ville sannsynligvis gitt et godt produkt. Men argumentet om at AHP kan

tas i bruk for å vurdere alternativene gjør at man like godt kan benytte AHP fullt ut i verktøyet, da veiing av alternativer er en vesentlig del i dette. Det er ingen avgjørende argumenter for at verktøyet som er utviklet i arbeidet med masteroppgaven ikke kan bygges på AHP. Selv om SMART også har de samme fordelene som AHP, har AHP i tillegg den fordelen at man kan benytte en verbal skala om man ønsker det. Så lenge denne skalaen er god, vil dette være en fordel AHP kontra SMART. Dessuten er AHP mye utprøvd i løpet av de snart 30 årene den har eksistert. På bakgrunn av dette er det valgt å gå videre med AHP som MCDA-metode i denne oppgaven.

## **2.6 Vurdering av AHPs relevans som beslutningsstøtteverktøy i byggebransjen.**

Det hersker liten tvil om at store byggeprosjekter er kompliserte oppgaver, med mange involverte aktører og med mange berørte parter. Fra idéfase til ferdigstilling og overtakelse er det en lang vei. At man tidlig i prosjektet prøver å ta kontroll over de ulike parametrene og faktorene som vil påvirke prosjektet er essensielt for at prosjektet skal bli en suksess.

### **2.6.1 Hvordan vil AHP brukes i et verktøy for byggebransjen?**

Slik byggeprosjekter løses i dag henter byggherre inn tilbud fra ulike eksterne aktører, for å få ulike løsninger på sitt oppdrag. For at disse aktørene skal kunne gi tilbud som i best mulig grad tilfredsstiller byggherres ønsker, er det viktig at byggherre på forhånd har tydeliggjort for alle anbydere hva de mener er viktig i prosjektet. I denne fasen er et verktøy basert på AHP hensiktsmessig, da det er svært mange parametre som vil ha mer eller mindre betydning for utfallet, og viktighetsforholdet mellom disse trenger ikke å være gitt for byggherre. Det planlagte verktøyet vil hjelpe byggherre med å klarlegge hva som faktisk er viktigst, og hva som er mindre viktig. Byggherre kan da tydelig signalisere til alle anbydere hva det er de skal gi tilbud på. På denne måten vil sannsynligvis tilbudene være mer i tråd med det byggherre ønsker, i motsetning til om man ikke hadde klarlagt forutsetningene like tydelig på forhånd.

Videre i prosessen vil det være en enorm mengde informasjon som skal vurderes når man skal ta i betraktning alle tilbudene og finne ut hvilket som best besvarer byggherres prioriteringer. Verktøyet lar beslutningstaker (byggherre) plukke alle tilbudene fra hverandre, og vurdere hver enkelt tilbud mot hverandre i forhold til hver parameter som har betydning for prosjektet. Verktøyet beholder informasjonen fra byggherren om hvilke parametre som betyr mye og lite, og på bakgrunn av dette, og vurderingene av anbudenes besvarelse av de ulike parametrene, får man et anslag om hvilket tilbud som, totalt sett, best besvarer byggherres ønsker. Hvert alternativ vil få en totalscore som forteller hvor godt det er i forhold til de andre.

### **2.6.2 AHP i forhold til organisering i byggeprosjektet**

Entrepriseformene i Norge er totalentreprise, delt entreprise, hovedentreprise og generalentreprise, men det er de to førstnevnte som er vanligst. Beslutningsstøtteverktøyet slik det planlegges kan gjøre det problematisk å benytte modellen for delte entrepriser. Det kommer av at man i delte entrepriser henter inn tilbud fra forskjellige aktører til forskjellige felter av prosjektet, og man vil kunne trenge å gjøre noen modifikasjoner for at det skal bli riktig. Disse modifikasjonene består i stor grad av å endre hierarkiet i verktøyet slik at det blir tilpasset hver del av prosjektet. Dette vil gi en bedre oversikt for de enkelte anbydere til å se hva som ønskes i det gjeldende prosjektet. For de

andre entrepriseformene kan man benytte verktøyet slik det er planlagt, og for totalentrepriser, som er veldig vanlig i Norge, er det idéelt.

### 2.6.3 Eksempler på bruk av AHP i byggeprosjekter

I Norge er ikke bruk av AHP som beslutningsstøtteverktøy spesielt utbredt, men dr. Eldar Aarholt i Teleplan er en av de som allerede har tatt det i bruk. I forbindelse med anbudsrunder for digitalt nødnett, sier Aarholt dette om AHP:

*«- Evalueringsmetodikken vi bruker kalles en analytisk hierarkisk prosess. Den strukturerer den tilgjengelige informasjonen i en modell, slik at vurderingen fremstår som samstemt og oversiktlig. Det vil si at metodikken tar hensyn til menneskelige faktorer som kunnskap, erfaring og vurderingsevne, noe som er meget sentrale begreper i enhver beslutningsprosess. Alle vurderinger gjort under evalueringen blir dokumentert i en evalueringsdatabase, noe som forenkler rapportering av evalueringen.» (Vollan, 2006)*

Som sitatet antyder har Aarholt god nytte av AHP som verktøy når han behandler anbudskonkurransen for det komplekse og betydelige prosjektet om digitalt nødnett i Norge. Dette eksempelet er ikke langt unna de typer prosjekter som denne rapporten handler om. I et byggeprosjekt har man ofte like mange faktorer å ta hensyn til som i dette eksemplet.

Ser man utenlands er det straks flere eksempler å vise til. Som nevnt er AHP meget utbredt i USA, men også i Kina finnes det mye litteratur og forskning på området. Disse rapportene er noen eksempler på bruk av AHP til å ta beslutninger i komplekse bygg-relaterte prosjekter:

- *Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings* (Hsieh, Lu, & Tzeng, 2004) omhandler vurdering av ulike alternative løsninger for offentlige kontorbygg.
- *The Multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a Common Context* (F. A. Lootsma \*, 1996) behandler blant annet AHP i forhold til beslutningen om hvor et atomkraftverk skal plasseres.
- *Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems* (Wong & Li, 2008) behandler valg av intelligente bygningsprodukter ved hjelp av AHP.
- I tillegg finnes det en lang rekke eksempler på Expert choice's hjemmesider. (Expert Choice, 2009)

Det er lite som tyder på at AHP ikke skulle la seg benytte til lignende prosjekter også i Norge.

#### **2.6.4 Oppsummering av AHPs relevans i byggeprosjekter**

Alt i alt er det etter forfatterens mening meget hensiktsmessig å bruke en MCDA-metode i planlegging og prosjektering av et byggeprosjekt. Som nevnt tidligere er det flere metoder som kan la seg bruke, og AHP vurderes her som den beste på grunn av enkelhet, fleksibilitet og verbal skala, samt gode beregningsmetoder. Det vurderes også som uproblematisk å benytte Saaty's 1-9-skala som grunnlag for prioriteringer i verktøyet, så lenge man tar hensyn til inkonsekvente vurderinger.





### 3 Eta Energis beslutningsstøtteverktøy

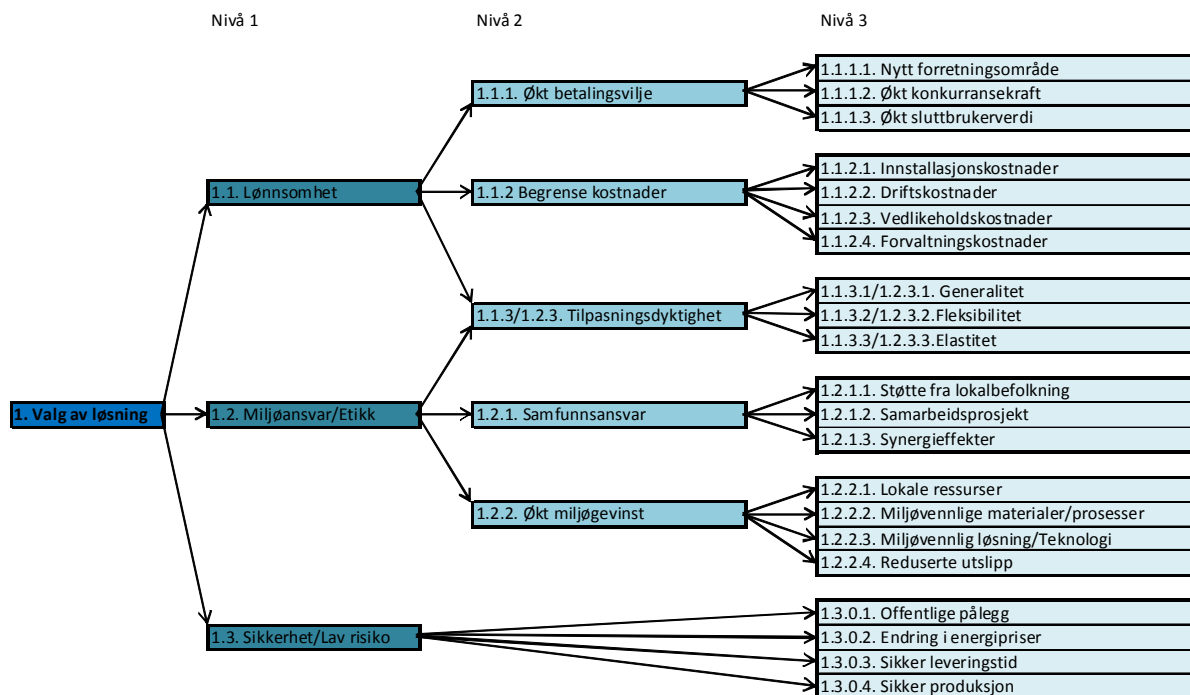
I dette kapittelet gjennomgås først det eksisterende beslutningsstøtteverktøyet. Deretter gjøres det vurderinger rundt valg av programvare før det redigerte beslutningsstøtteverktøyet sine nye funksjoner og endringer blir presentert. Videre beskrives arbeidet med brukermanualen til beslutningsstøtteverktøyet før verktøyet sine relevans i byggeprosjekter diskuteres.

#### 3.1 Presentasjon av Eta Energis opprinnelige beslutningsstøtteverktøy

Det eksisterende verktøyet er utviklet i Microsoft Excel av Eta Energi AS i samarbeid med studentene Anders Lutro Østensen og Håvard Styve ved Høgskolen i Bergen. Dette verktøyet er vedlagt denne rapporten elektronisk som *Eksisterende\_AHPmodell.xls*. I motsetning til annen AHP-basert programvare som for eksempel Expert Choice som krever at man kommer frem til alle relevante faktorer selv, har man i Eta Energis verktøy på forhånd kommet frem til relevante faktorer for et byggeprosjekt. Disse faktorene er gruppert i et hierarki som ikke skal endres underveis, men beslutningstaker kan avgjøre hvor mye hver enkelt faktor betyr for ham/henne. Bakgrunnen for dette er at man skal kunne presentere et verktøy for en beslutningshaver, hvor forarbeidet (gjennom oppbygging av hierarki av relevante faktorer) er gjort, og man kan gå rett i gang med prioriteringer og vurderinger.

##### 3.1.1 Hierarki

Som nevnt har programmet et forhåndsdefinert hierarki av faktorer som er relevante i et byggeprosjekt. Dette hierarkiet er presentert i Figur 2.



Figur 2: Hierarkiet av faktorer som det eksisterende beslutningsstøtteverktøyet bygger på

### 3.1.2 Prioritering av faktorer

For en beslutningstaker med et gitt problem er det første som må gjøres i verktøyet å legge inn de ulike alternative løsningene på dette. Disse alternativene skal beslutningstaker senere vurdere mot hverandre i forhold til hver faktor. Men før det gjøres, skal det gjøres en parvis sammenligning av faktorene i hierarkiet. Fordelen med hierarkiet er her at man ikke trenger å vurdere alle faktorer mot alle, da man i stedet grupperer faktorer i relevante grupper. Hierarkiet består av 3 nivåer og faktorene skal kun vurderes mot andre faktorer i samme nivå og samme undergruppe.

På øverste nivå i hierarkiet har man de hovedfaktorer som betyr noe for løsning av problemet. Disse er *Lønnsomhet*, *Miljøansvar/Etikk* og *Sikkerhet/Lav risiko*. I første omgang vurderer man bare disse tre mot hverandre. Et eksempel på en slik vurdering er vist i Figur 3. I vurderingene bruker man Saaty's 1-9-skala for å vurdere hvor viktig en faktor er i forhold til en annen. Som Figur 3 viser får man en oppdatering på om man er inkonsekvent eller ikke i sine vurderinger. Inkonsekvent resonnering<sup>3</sup> bør holdes under 10 %. Man holdes også oppdatert på rangering av alternativene på bakgrunn av prioriteringene som er gjort.

Navn på post:	1 - Valg av løsning				
<b>Vurdering av poster</b> Evaluer viktighet mellom de forskjellige momentene/ postene på en skala mellom 1-9. For eksempel er 1 gitt når en post har samme verdi som en annen, og 9 er gitt hvis den første posten er vurdert som ubetinget viktigere enn den andre. (1=like viktig, 3=klart viktigere, 5= mye viktigere, 7=veldig mye viktigere og 9=ubetinget viktigere)	Lønnsomhet	Miljøansvar / Etikk	Sikkerhet / Lav risiko	Geometrisk gjennomsnitt	Normalisert eigenvector
Lønnsomhet	1	3	4	2,29	0,6250
Miljøansvar / Etikk	1/3	1	2	0,87	0,2385
Sikkerhet / Lav risiko	1/4	1/2	1	0,50	0,1365

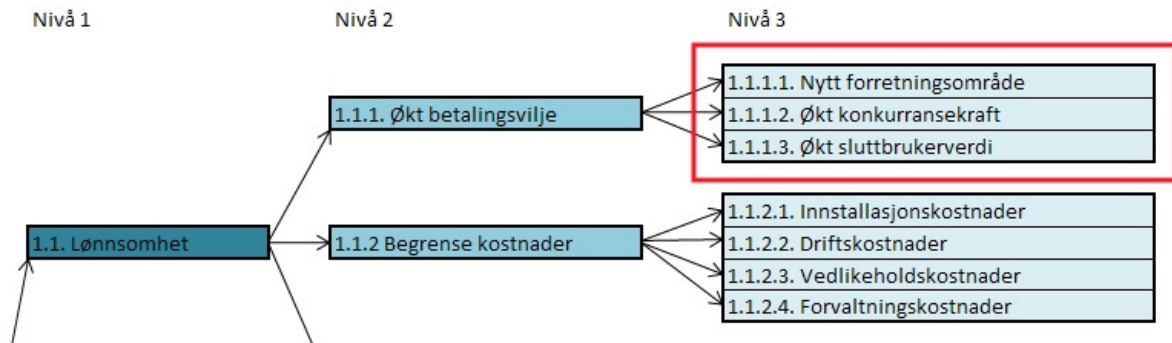
Inkonsekvent resonnering 1,76% Holdes under 10%

Figur 3: Eksempel på vurdering av faktorer i det eksisterende beslutningsstøtteverktøyet

Det neste steget i vurderingsprosessen er å vurdere faktorene under hver av de tre hovedfaktorene mot hverandre. For faktoren *Lønnsomhet* er underfaktorene som skal vurderes *Økt betalingsvilje*, *Begrense kostnader* og *Tilpasningsdyktighet*. De tre underfaktorene til *Lønnsomhet* har igjen egne underfaktorer. Disse vurderes igjen bare mot hverandre. Det vil si at underfaktorene til *Økt*

<sup>3</sup> Mer om inkonsekvent resonnering i vedlegg 2.

*betalingsvilje* som er *Nytt forretningsområde*, *Økt konkurransekraft* og *Økt sluttbrukerverdi* skal vurderes mot hverandre, men ikke mot andre faktorer på samme nivå i hierarkiet. I figur 4 som er et utsnitt av figur 2, er disse tre underfaktorene markert med en rød ramme.



Figur 4: Utsnitt av hierarkiet i beslutningsstøtteverktøyet med markering av underfaktorer til *Økt betalingsvilje*

Når alle faktorer i alle grupper og nivåer er vurdert mot sine respektive faktorer, får man et hierarki som sier hvor mye hver enkelt faktor påvirker den endelige løsningen.

### 3.1.3 Vurdering av alternative løsninger med henblikk på de ulike faktorene

I verktøyet prioriterer man så hvor godt hver alternativ løsning besvarer de ulike faktorene i hierarkiet. I og med at man har prioritert *alle* faktorer på *alle* nivå, trenger man kun se på hvor godt de alternative løsningene besvarer faktorene i *nederste* nivå i hierarkiet. På bakgrunn av denne vurderingen får beslutningstaker en oversikt over hvilket alternativ som best besvarer ønskelig løsning.

Den generelle fremgangsmåten i det eksisterende verktøyet og det redigerte verktøyet som presenteres i kapittel 3.3 er lik. For en mer detaljert gjennomgang av verktøyet kan derfor den vedlagte brukermanualen som er laget i forbindelse med denne masteroppgaven være relevant. Denne er presentert i vedlegg 1.

### 3.1.4 Begrensninger

Det eksisterende beslutningsstøtteverktøyet er funksjonelt, men har flere klare mangler som det skal jobbes videre med i denne masteroppgaven:

- Verktøyet mangler en god mulighet for lagring av data på en oversiktlig måte. Når man har gjort prioriteringene har man all data samlet i et veldig stort exceldokument, men ingen muligheter for å søke etter for eksempel en spesifikk vurdering. Et delmål for denne masteroppgaven er derfor å se på alternative løsninger til lagring av prioriteringer, slik at man enkelt kan finne frem til de relevante data, uten å sitte med uttallige excelark som man manuelt må lete i.

- Videre mangler det eksisterende verktøyet en del på brukervennlighet. Verktøyet fremstår uklart med en rotete oppbygning.
- Man kan ikke navigere ved hjelp av knapper, og dokumentet er ubeskyttet slik at man fort kan komme til å endre noen celler uten at man ønsker det.
- Det lagt inn forklaringer på hver faktor som det skal vurderes mot, men noen av disse er litt sparsommelige. Det er derfor ønskelig å legge inn grundigere forklaringer for å sikre at beslutningstaker vet hva han/hun vurderer i forhold til.
- Verktøyet savner også en gjennomgang eller en brukermanual som kan følge med og forklare bruken av verktøyet i detalj.

## 3.2 Vurderinger av programvare i ny versjon av Eta Energis

### beslutningsstøtteverktøy

Etter at det eksisterende excelprogrammet ble vurdert og i noen grad videreutviklet i fordypningsprosjektet til denne masteroppgaven høsten 2008, ble det i samråd med veiledere avtalt at det kunne være hensiktsmessig å jobbe videre med modellen, men muligens i en annen form, fortrinnsmessig en databaseløsning. Dette for å styrke mulighetene for en god måte å lagre data på. I dette kapitlet presenteres vurderinger av hvilken programvare som er mest hensiktsmessig å bruke i denne sammenheng.

#### 3.2.1 Valg av programvare

Det finnes mange ulike løsninger for lagring av data i databaser. I og med at forfatteren ikke hadde spesiell kjennskap til databaser fra før, ble det gjort et valg om å benytte Microsofts databaseprogramvare, Microsoft Access, som lagringsmedium for beslutningsstøtteverktøyet. Det er av avgjørende betydning at oppbygningen og brukergrensesnittet er kjent for forfatteren etter bruk av Microsofts Office-pakke tidligere. Dette kan også antas å gjelde fremtidige brukere av programmet, noe som er essensielt, da brukervennligheten må være tilfredsstillende og brukerterskelen lav.

Microsoft Office er også valgt som programvare på bakgrunn av at det er program som de fleste har tilgang til. Dermed trengs ingen form for installasjon av ny programvare før beslutningsstøtteverktøyet kan tas i bruk. Beslutningsstøtteverktøyet er utviklet i 2007-versjonen av Office, men er kompatibel med eldre versjoner.

#### 3.2.2 Vurderinger av Excel kontra Access

I utgangspunktet var det ønskelig å lage et totalprogram som tok for seg alt av prioriteringer, vurderinger og lagring av data i Microsoft Access. Dette viste seg å være vanskelig, og spørsmålet om det er riktig (og mulig) å gjennomføre alt i Access gjorde seg gjeldende etterhvert som arbeidet med oppgaven pågikk.

Microsoft er tydelig på at man ofte står overfor problemet mellom å velge Access og Excel, og at valget ikke alltid er åpenbart. De ber programmereren stille seg noen enkle spørsmål, hvis svar kan antyde noe om hvilket program som er mest egnet:

*“A few questions can help you decide between the two programs Access and Excel:*

- 1. First, do you need to store and manage your data, or do you need to analyze that data? If storage is your primary goal, then use Access, but for analysis, use Excel.*

2. *Second, do you have a lot of data? For example, is your Excel worksheet so large that it's hard to use? If so, even if you have flat data, Access can make your information easier to find.*
3. *Is your data mostly text, or is it numeric? Access can store a large amount of text — up to two gigabytes in a single database — while Excel is designed to store numbers and perform sophisticated calculations on them.” (Microsoft, 2009)*

**Spørsmål 1** handler om hva man skal gjøre med inn-data. I dette tilfellet er svaret at data i første omgang skal analyseres, deretter lagres. Her vil man altså ha behov for både egenskapene i Excel og i Access.

**Spørsmål 2** omhandler størrelse på programmet og oversiktighet, og er i likhet med spørsmål 1 et spørsmål som gir svaret ja på både Excel og Access. Ja, excelprogrammet er stort, men det er delt opp i mange ark for å unngå at det blir for uoversiktlig.

**Spørsmål 3** omhandler hvilke type data man har, og hva man ønsker å gjøre med dem. Mesteparten av dataen er numerisk, og det skal utføres mye kalkulasjoner med dem. Dette taler til klar fordel for Excel i dette tilfellet.

### 3.2.3 Vurderinger i Excel – Lagring i Access.

På bakgrunn av vurderingene gjort i kapittel 3.2.2 *Vurderinger av Excel kontra Access*, og forfatterens egne oppfatning av hvordan Access og Excel er bygd opp, er det i samråd med veiledere Hanssen og Høseggen bestemt at man tar med seg excelprogrammet videre, da dette på en utmerket måte kan behandle AHP og gjøre tallvurderingene og prioriteringene oversiktlige. Dette er ikke tilfellet med Access. Microsoft oppsummerer fordelene med Excel slik:

- *So where does Excel shine? With numbers! You can run sophisticated what-if models and cost-benefit analyses that you can't in Access.*
- *Do you need PivotTable reports? These are interactive tables that allow you to rotate rows and columns and see different summaries of your data. Excel makes it easier to work with PivotTable reports and PivotChart reports — charts based on those tables.*
- *Do you want to convey information visually, by using charts or data bars? Excel is your tool.*
- *Finally, not everyone has Access, and not everyone knows how to use it. Your coworkers may prefer Excel.*

(Microsoft, 2009)

Alle fire overnevnte punkter er relevante i dette tilfellet. Spesielt det at alle vurderinger gjøres ved tall, og at det gjøres tunge beregninger med disse er viktig for valget av Excel. Dessuten er det ønskelig å visualisere resultatene, slik punkt 3 nevner.

Det Excel derimot ikke er like velegnet for, er oversiktlig lagring av data med mulighet for å filtrere søk og spørre etter enkelte oppføringer. Derfor legges det opp til eksportering av vurderingene gjort i Excel til Access, for å få samlet disse på en oversiktlig måte. Disse poengene trekker også Microsoft frem som viktige sider ved Access:

*“Suppose you use Excel to store information about your company's computers. Over time, your worksheet has grown too big to manage easily — you have to scroll through too many columns and rows to find data, and that makes it hard to find answers. Importing that data into Access will make it easier to extract those answers because you can write queries, components that retrieve and process data quickly.”*

(Microsoft, 2009)

Det er ønskelig at man ved lagring av informasjon etter tidligere bruk av verktøyet kan tilby nye beslutningstakere muligheten til å se hva andre beslutningstakere i lignende situasjoner har prioritert og vurdert. Dette vil heve kvaliteten på verktøyet, og gjøre det lettere å bruke.

### 3.3 Nye løsninger i Eta Energis beslutningsstøtteverktøy

Dette kapitlet presenterer de nye løsningene i Eta Energis beslutningsstøtteverktøy som er utarbeidet i denne masteroppgaven. Den redigerte versjonen av verktøyet er vedlagt rapporten elektronisk som excelfil med navn **AHPmodell.xlsm** for makrokompatibel programvare og **AHPmodell.xls** for eldre versjoner av Excel. Databasen er vedlagt som Accessfil med navn **Tidligere vurderinger.accdb**. Det eksisterende verktøyet som det nye er basert på er vedlagt som **Eksisterende\_AHPmodell.xls**.

#### 3.3.1 Muliggjøre eksport av data

For at dataene i excelverktøyet skal kunne eksporteres må det legges til rette for dette. Eksportering av data fra Excel til Access kan kun skje fra **ett** ark i Excel til **en** ny tabell i Access. Excelverktøyet består totalt av 9 ark med prioriteringer av faktorer. Disse prioriteringene er det ønskelig å samle i en database i Access, og alle prioriteringer må derfor samles i et ark i excelarket før de kan eksporteres. Et eget ark med navnet **Databasegrunnlag** som samler alle faktorene i en tabell som er leselig for Access er derfor implementert i det nye verktøyet.

For at dataene skal være leselige for Access kreves det at dataene er samlet og organisert slik at de passer inn i måten Access er bygd på. Ved første øyekast ser Excel og Access veldig likt ut. De har det samme rammeverket, og arkene består av celler som man kan fylle inn informasjon i. Men i Access er man strengere med kolonnene enn i Excel. Hver enkeltkolonne må inneholde samme type data for at det skal gi mening i Access, og for at man skal kunne bruke dataene til noe senere. Løsningen som presenteres her er å ha faktor 1 og faktor 2 i de to første kolonnene, og beslutningstakers vurdering av disse faktorenes viktighet i forhold til hverandre i kolonne 3. Tallene hentes direkte fra tabellene hvor vurderingene gjøres i Excel. Figur 5 viser et eksempel på data som er klargjort for eksport fra Excel til Access.

Det er mulig å lage et makro<sup>4</sup> som gjør prosessen med eksportering enklere, men det er kommet frem til at siden verktøyet skal brukes på ulike datamaskiner vil det vanskelig la seg gjøre når en dermed ikke kjenner lagringsstedet for Accessfilen på de ulike datamaskinene. Derfor er det lagt opp til en manuell eksport, og i brukermanualen som er vedlagt i vedlegg 1 er fremgangsmåten beskrevet i detalj.

---

<sup>4</sup> Makroer behandles nærmere i kapittel 3.3.3 *Innføring av knapper*.



	A	B	C
1	<b>Faktor 1</b>	<b>Faktor 2</b>	<b>Vurdering</b>
2	Lønnsomhet	Miljøansvar / Etikk	3
3	Lønnsomhet	Sikkerhet / Lav risiko	1/3
4	Miljøansvar / Etikk	Sikkerhet / Lav risiko	1/9
5	Økt betalingsvilje	Begrense kostnader	3
6	Økt betalingsvilje	Tilpasningsdyktighet	1
7	Begrense kostnader	Tilpasningsdyktighet	1/3
8	Nytt forretningsområde	Økt konkurransekraft	1/2
9	Nytt forretningsområde	Økt sluttbrukerverdi	1
10	Økt konkurransekraft	Økt sluttbrukerverdi	2
11	Installasjonskostnader	Driftskostnader	1
12	Installasjonskostnader	Vedlikeholdskostnader	2
13	Installasjonskostnader	Forvaltningskostnader	2
14	Driftskostnader	Vedlikeholdskostnader	1/2
15	Driftskostnader	Forvaltningskostnader	2
16	Vedlikeholdskostnader	Forvaltningskostnader	1
17	Generalitet	Fleksibilitet	1
18	Generalitet	Elastitet	1
19	Elastitet	Fleksibilitet	1
20	Samfunnsansvar	Økt miljøgevinst	1
21	Samfunnsansvar	Tilpasningsdyktighet	3
22	Økt miljøgevinst	Tilpasningsdyktighet	3
23	Støtte fra lokalbefolkning	Samarbeidsprosjekt	4
24	Støtte fra lokalbefolkning	Synergieffekter	1/2
25	Samarbeidsprosjekt	Synergieffekter	1/4

Figur 5: Eksempel på data samlet i et ark i det redigerte beslutningsstøtteverktøyet og klartgjort for eksport til Access

### 3.3.2 Endring av rekkefølge på arkene

Verktøyet består av mange ark, og det kan lett virke uoversiktlig. Likevel er målet med arkene nettopp å gjøre programmet så oversiktlig som mulig. For å navigere i arkene bruker man en verktøylinje nederst i skjermbildet, hvor alle arkene er representert med hver sin fane.

Det opprinnelige verktøyet hadde en noe ukronologisk sortering på fanene i den nedre verktøylinjen, noe som gjorde navigering i programmet unødvendig uoversiktlig. For å gjøre navigeringen enklere og mer intuitiv er fanene sortert etter når man trenger dem. Det vil si at fra den gamle versjonen til den nye er blant annet Vurdering- og Resultatfanen flyttet lenger ut i programmet, og de grafiske fremstillingene er plassert enda lenger bak. Samtidig er prioriteringssfanene flyttet lenger frem i rekkefølgen. Faner som kun inneholder bakgrunnsformler og mellomlagring av informasjon er

plassert helt bakerst, da de er irrelevante i selve beslutningsprosessen. På denne måten kan man fullføre hele beslutningsprosessen fra A til Å ved å navigere seg gjennom fanene på den nedre verktøylinjen fra venstre til høyre.

### 3.3.3 Innføring av knapper

I tillegg til å navigere ved hjelp av fanene i den nedre verktøylinjen var det også lagt til rette for bruk av "knapper" for navigering i det eksisterende programmet. Disse knappene hadde dog ingen funksjon.

I den redigerte versjonen har knappene fått funksjoner som gjør dem nyttige. En knapp i Excel fungerer på samme måten som alle andre typer knapper. Når man trykker på dem (med musepekeren) utføres en ønsket handling. De fleste knappene i dette programmet er navigasjonsknapper. Det vil si at man kan navigere i verktøyet ved hjelp av knappene uten å bruke fanene.

I hvert ark ligger et sett med knapper i overkant hvor man enkelt kan navigere seg til hovedfanene **Forord**, **Hierarki**, **Alternativer**, **Vurdering** og **Resultat**, vist i Figur 6. Fra fanen **Resultater** kan man også navigere seg til grafiske presentasjoner ved hjelp av ulike knapper.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Forside	Hierarki		Alternativer		Vurdering		Resultat		

Figur 6: Navigasjonsbaren som ligger i overkant i beslutningsstøtteverktøyet

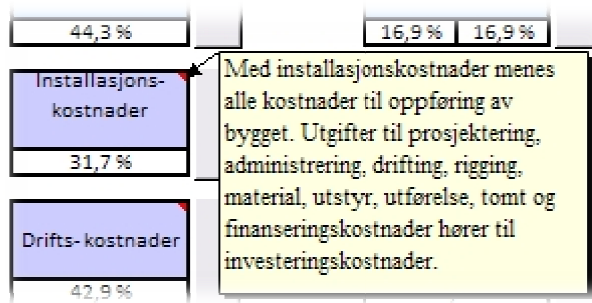
I fanen **Hierarki** hvor alle faktorene er presentert i hierarkiet, har dessuten hver faktor en egen knapp som gjør at man kan navigere seg til hver av vurderingsfanene for de respektive faktorer. I denne fanen er også det lagt til en knapp som sletter all data lagt inn av beslutningstaker. Dette kan være nyttig hvis man ønsker å forkaste tidligere prioriteringer. Med denne knappen slipper man å lukke programmet og åpne den tomme filen på nytt hvis man ønsker å prioritere på nytt.

Knappene utfører handlinger ved hjelp av makroer. Makroer er automatiske handlinger definert av programmereren. Ved å lage en figur, for eksempel en firkant, for deretter å koble et makro til denne, har man laget en knapp. Ved å registrere handlingen makroet skal gjøre, vil makroet gjøre denne handlingen hver gang man trykker på denne knappen senere. De fleste knappene i dette verktøyet er som nevnt navigasjonsknapper. Det vil si at når man trykker på dem, åpnes den fanen som knappen antyder at skal åpnes.

### 3.3.4 Nye forklaringer i hierarkiet

I det eksisterende verktøyet er det en forklaring på hver faktor i hierarkiet. Disse var i noen grad ufullstendige og det er gjort en gjennomgang av disse for å komme frem til bedre forklaringer der

dette var nødvendig. Mye av dette arbeidet ble gjort i fordypningsprosjektet til denne masteroppgaven og vurderingene er presentert i vedlegg 4. Forklaringene ble ikke lagt inn i verktøyet, men dette er gjort i forbindelse med denne masteroppgaven. Ved å holde musepekeren over hver faktor i hierarkiet får man opp forklaringen på hva som menes med den. Et eksempel på en slik kommentar er gitt i Figur 7.



Figur 7: Eksempel på forklaring av faktor i beslutningsstøtteverktøyet

### 3.3.5 Ny vurdering av faktorer i hierarkiet

I fordypningsprosjektet til denne masteroppgaven ble som nevnt alle faktorene i hierarkiet gjennomgått. Det ble forsøkt å komme frem til en løsning hvor alle faktorer som er relevante for et byggeprosjekt var tatt med. På bakgrunn av tilbakemelding for fordypningsprosjektet høsten 2008 er faktoren *Miljøvennlig løsning/Teknologi* endret til *Innovativ samt miljøvennlig løsning*. Innovativitet var ikke en faktor i det opprinnelige verktøyet, men er meget relevant i et byggeprosjekt og er derfor innført som en faktor i det nye verktøyet.

### 3.3.6 Andre endringer

I tillegg til de overnevnte endringer, er det gjort ulike endringer utseendemessig og på format. Blant annet er det sørget for at alle cellene hvor det skal fylles inn vurderinger har formatet "Fraction", eller brøk på norsk, slik at det er mulig å skrive tall som er lavere enn 1 uten at man skal være redd for at den skal autokorrigeres til for eksempel en dato. Dette har hendt ved gjennomgang av programmet tidligere. Nå er man sikret at det blir en brøk, slik den numeriske skalaen tilsier.

Av utseendemessige endringer omfattes blant annet endring av skrifttype og farge på knapper slik at disse er mer leselige. Det er også lagt til nye beskrivelser i verktøyet, som tydeligere beskriver hva som skal gjøres, og hvordan vurderingsskalaen som brukes er bygd opp.

Cellene i excelarket er nå blitt låst, slik at de ikke kan endres. Endringer kan skje ved uhell eller med overlegg, men når cellene er låst kan man ikke gjøre dette uten at man først åpner dem for endringer igjen. På denne måten sørger man for at formler og utseende bevares. Celler som skal fylles inn i er ikke låst, slik at det skal være mulig å fylle inn informasjon der.

### **3.4 Arbeid med brukermanual til Eta Energis beslutningsstøtteverktøy**

I arbeidet med brukermanualen til beslutningsstøtteverktøyet har fokuset vært å lage en beskrivelse av programmet, dets oppbygning og virkemåte som gjør at hvem som helst skal kunne bruke det. Den er også ment å skulle stå alene sammen med selve beslutningsverktøyet, uavhengig av denne masterrapporten. Dette har stilt en del krav i forhold til hvordan den skal skrives og hva som skal være med. Manualen er utarbeidet med tanke på bruk av Microsoft Office 2007, men vil i stor grad også fungere godt for eldre versjoner av programvaren.

I den første delen av manualen beskrives metoden som verktøyet bygger på. Det er essensielt at brukeren av verktøyet forstår hvilken metode som ligger til grunn for beregningene som gjøres. Her presenteres AHP kort med litt historie og en generell fremgangsmåte. Deretter presenteres verktøyets begrensinger i forhold til hvordan det kan brukes.

Den neste delen i manualen beskriver fremgangsmåten i verktøyet i detalj. Her er det lagt fokus på å gjøre beskrivelsen så detaljert at det ikke skal være noen tvil om hva som skal gjøres når, og hvordan. Beskrivelsen inneholder skjermbilder fra verktøyet, slik at beslutningstaker kan være trygg på at han/hun er på riktig "sted" i verktøyet. Viktige sider av AHP beskrives der dette er relevant, og det gis eksempler på hvordan enkelte operasjoner skal gjøres. Dette gjelder for eksempel delen hvor selve prioriteringene av faktorer beskrives. Her presenteres beskrivelser av vurderingsskalaen, hvordan den er bygd opp og gjennom eksempler hvordan den er ment å brukes. Dessuten presenteres beregningsmetoden som ligger bak. Dette er viktig for at beslutningstaker skal kunne vite på hvilket grunnlag beslutningene gjøres.

Lagring av data i Access må, som nevnt tidligere, gjøres manuelt. Derfor er det også presentert en detaljert punktliste for fremgangsmåten for å få til dette.

Brukermanualen er presentert i vedlegg 1: *Brukermanual for Eta Energis beslutningsstøtteverktøy*. Mye av det som står i brukermanualen er hentet fra denne masterrapporten, samt prosjektrapporten for fordypningsprosjektet som ble levert i forkant av arbeidet med masteroppgaven. De delene av prosjektrapporten for fordypningsprosjektet som det er hentet materiale fra ligger i vedlegg 2, 3 og 4.

### **3.5 Diskusjon rundt Eta Energis beslutningsstøtteverktøy og dets relevans i byggebransjen**

Det er en tydelig trend i samfunnet generelt at det stilles høyere krav til nybygg nå enn før. I dagens leiemarked skal et kontorbygg tilfredsstille brukernes behov for gode arbeidsvilkår. I tillegg til trygge omgivelser som beskytter brukere av bygget fra vær og vind, skal det også til enhver tid være tilfredsstillende innemiljø. Dette inkluderer termisk-, atmosfærisk-, akustisk-, aktivisk-, mekanisk-, estetisk- og psykososialt miljø (Gjerstad, Hanssen, Novakovic, Skarstein, & Thue, 1996). Dessuten stilles det krav til brukervennlighet og fleksibilitet. Dette krever mye av de som planlegger bygget, og ulike aktører som entreprenører, arkitekter, rådgivende ingeniører, byggherre og eventuelle fremtidige brukere må samarbeide i mye større grad enn hva som var vanlig tidligere.

Dessuten er miljøvennlighet og lavt energibruk stadig viktigere. Til dels velger enkelte bedrifter å fokusere på dette på bakgrunn av omdømmerelaterte årsaker, dels blir dette i større og større grad pålagt gjennom direktiver og lover. Dette krever en omstilling i byggebransjen, i form av at byggkomponenter og teknisk anlegg blir tilpasset nye krav. Den rivende utviklingen innen automasjon de siste årene vil også gi større muligheter for gode løsninger for smart belysning, adgangskontroll og energikontroll. Alt dette stiller større krav til planlegging.

For byggherre vil alltid økonomi spille en viktig rolle. Det er av avgjørende betydning at byggherre kan forvente en riktig pris ut i fra det som er bestilt, og at budsjettoverskridelser unngås. Også når bygget er ferdigstilt er det viktig at driftskostnadene ikke er uforholdsmessig høye sammenlignet med det som var skissert på forhånd.

For å komme i mål med planleggingen av slike kompliserte prosjekter er et beslutningsstøtteverktøy av typen som er presentert i denne rapporten meget nyttig. I dette verktøyet kan alle de overnevnte faktorer tas høyde for, og slik sett gi byggherre trygghet i beslutningsprosessen. Verktøyet vil også være nyttig i anbudsprosessen i forkant av byggestart. Byggherre vil kunne tydeliggjøre hva den ønsker av anbyderne, og anbyderne vet hva det er de byr på, og stiller sånn sett med like gode kort. Verktøyet er enkelt nok til at alle kan bruke det. I en planleggingsfase kan derfor ulike aktører med ulike preferanser bruke verktøyet, og resultatene kan være grunnlaget for en konstruktiv og oversiktlig diskusjon.

Med muligheten for å lagre prioriteringer av faktorer i en database vil man også etterhvert kunne tilby en kunnskapsbank for beslutningstakere som er usikre på hvordan de bør prioritere.

Den store utfordringen vil være å få dette verktøyet i bruk. Til tross for at behovet ligger der, og de komplekse prosjektene er mange, tar det tid å tillegge aktørene nye vaner, selv om man mener at

disse vanene skal medføre bedre bygg. I Eta Energis beslutningsstøtteverktøy er det lagt vekt på brukervennlighet og intuitivitet, samt at det er bygd på en relativt enkel matematisk metode. Som et verktøy for en bransje hvor det stilles stadig strengere krav til gode løsninger vurderes Eta Energis beslutningsstøtteverktøy som meget hensiktsmessig, men det gjenstår fortsatt å teste programmet på reelle prosjekter før man går for langt i å vurdere markedspotensialet for det.

På generelt grunnlag må markedspotensialet for slike typer verktøy vurderes som stort med tanke på kompleksiteten og kravene som stilles til nye bygg i dag.

## 4 Konklusjon

I denne masteroppgaven er det utviklet et beslutningsstøtteverktøy i Excel basert på et eksisterende verktøy, men med nye muligheter for lagring i Access. Det er gjort en vurdering av AHPs relevans i dette verktøyet. Det er også utviklet en brukermanual som er ment å gjøre terskelen for bruk av verktøyet lavere.

AHP er i oppgaven vurdert som en meget velegnet metode å legge til grunn for beslutningsstøtteverktøyet. Fordelen med AHP er at den kan ta for seg mange faktorer på en oversiktlig måte. Den parvise sammenligningen av faktorene gjør at både kvantitative og kvalitative faktorer kan tas med i beregningene. Sammen med en enkel vurderingsskala med en korresponderende verbal skala får man en metode med relativt lav brukerterskel. Dette er viktig da målet er at verktøyet lett skal kunne brukes av ulike grupper med ulik fagbakgrunn.

AHP har høstet en del kritikk for den såkalte 1-9-skalaen. Dels fordi intervallene som skalaen er delt opp i ikke er like store: Det å øke verdien på skalaen fra 1 til 2 er prosentvis mye mer enn å øke verdien fra 8 til 9. Dette har skaperene av AHP besvart ved å innføre egenvektorer som brukes for å unngå inkonsekvente vurderinger. Dessuten har den verbale skalaen fått kritikk på bakgrunn av at ulike personer kan ha ulik opplevelse av hvor "sterkt" et ord er. Så lenge den samme personen gjør alle vurderingene i et sett, vil derimot ikke dette være et stort problem. Den opprinnelige 1-9-skalaen er derfor lagt til grunn for vurderinger i verktøyet, og det er tatt i bruk nevnte mekanismer for å tydeliggjøre inkonsekvente vurderinger.

Verktøyet som er utviklet i denne oppgaven har samlet en rekke relevante faktorer for et byggeprosjekt i et hierarki. Dermed slipper byggherre/beslutningstaker å gjøre denne jobben. Hierarkiet gjør at vurderingene blir mer oversiktlige, samtidig som det begrenser antall parvise vurderinger. Fra den opprinnelige versjonen er det gjort en rekke forbedringer som sikrer bedre brukervennlighet:

- Arkene som verktøyet består av er sortert kronologisk for å gjøre forståelsen av prosessen bedre for beslutningstaker.
- Det er lagt til navigasjonsknapper for enklere navigering.
- Det er lagt inn nye forklaringer på de ulike faktorene i programmet.
- Innovasjon er lagt til som en faktor i verktøyet.
- Det er laget knapper for å slette henholdsvis alle prioriteringer som er gjort i verktøyet og alle alternativer som er lagt til av beslutningstaker.

- Enkelte celler har fått endret format slik at man får brøker i stedet for desimaltall der det er mulig.
- Generelle "ansiktsløftninger" er gjort for at verktøyet skal se tydeligere ut. Dette omfatter blant annet bedre tekstforklaring i enkelte celler og tydeligere farger.
- Alle celler som ikke skal endres av beslutningstaker er låst slik at formler og utseende ikke skal kunne endres ved uhell.

I tillegg til elementene som sikrer bedre brukervennlighet er det lagt inn en mulighet for eksport av prioriteringer til Access. Access er en databaseprogramvare som er bygd for lagring av informasjon, og som ved store informasjonsmengder fungerer mye bedre enn Excel på dette området. Etterhvert som databasen får mer informasjon fra ulike prosjekter kan denne gi muligheter for at nye beslutningstakere enkelt kan høste erfaringer fra arbeid som andre har gjort i lignende situasjoner tidligere. Dette vil også senke brukerterskelen og heve nytteverdien på beslutningsstøtteverktøyet.

For å fullføre arbeidet med verktøyet er det laget en detaljert brukermanual som skal følge med verktøyet. Denne beskriver gangen i beslutningsstøtteverktøyet samt de matematiske sidene som ligger til grunn for beregningene. Manualen har rikelig med skjermbilder for at brukeren skal være sikker på at han/hun er på riktig sted til en hver tid. Den presenterer også eksempler for å tydeliggjøre hvordan ulike operasjoner skal gjøres.

I et marked som stiller stadig større krav til bygg og byggenes kompleksitet er det tydelig at et slikt beslutningsstøtteverktøy som er presentert i denne rapporten er meget hensiktsmessig. Det gjenstår likevel å prøve ut Eta Energis beslutningsstøtteverktøy i reelle prosjekter før et eventuelt markedspotensial kan anslås.

Det redigerte verktøyet er vedlagt rapporten elektronisk som Excelfil med navn **AHPmodell.xlsm** for makrokompatibel programvare og **AHPmodell.xls** for eldre versjoner av Excel. Databasen er vedlagt som accessfil med navn **Tidligere vurderinger.accdb**. Brukermanualen er vedlagt denne rapporten i vedlegg 1 som *Brukermanual for Eta Energis beslutningsstøtteverktøy*.



## **5 Videre arbeid**

Dette kapitlet redegjør for ulike alternativer til videre arbeid med Eta Energis beslutningsstøtteverktøy og AHP. Verktøyet er i all hovedsak ferdigutviklet og klart for testing.

### **5.1 Innhente brukererfaringer**

Et naturlig steg videre med verktøyet vil være å prøve det ut i reelle prosjekter med mange aktører. Man vil da kunne høste erfaringer og få tilbakemeldinger fra mennesker med ulik bakgrunn og ulik forståelse av hva som eventuelt fungerer og ikke fungerer i verktøyet. Et mål med verktøyet bør være at alle som bruker det skal ha en opplevelse av at det er intuitivt og lettfattelig samtidig som resultatet av vurderingene skal være i tråd med brukerens forventinger. I og med at ulike mennesker tenker forskjellig er det veldig vanskelig å forutse alle slike sider av programmet før det er utprøvd. Derfor er dette et viktig steg videre i arbeidet med beslutningsstøtteverktøyet.

På bakgrunn av brukererfaringene kan man også oppdage små programmeringsfeil. Dette er småfeil som ofte lurert seg inn i programvare uten at programmereren har merket det, og er viktige å få luket ut. Den som eventuelt skal jobbe med disse brukererfaringene bør på forhånd selv sette seg inn i AHP og beslutningsstøtteverktøyet i detalj.

### **5.2 Vurdere relevansen av beslutningsstøtteverktøyet på bakgrunn av brukererfaringer**

På bakgrunn av omfattende brukererfaringsmateriale er det lettere å vurdere relevansen av beslutningsstøtteverktøyet i byggebransjen.

### **5.3 Videreutvikle beslutningsverktøyet i ny programvare**

Verktøyet er bygget i Excel, med de fordeler og ulemper som det medfører. Fordelen er at Excel er et intuitivt og kjent program for de fleste, og et program som gjør jobben med beregninger og analyse av resultater oversiktlig. Ulempen er at verktøyet blir noe uoversiktlig med mange faner. Dessuten må lagring av data eksporteres manuelt til Access databaser, noe som kan være tungvint. Et alternativ til videre arbeid med verktøyet ville være å utvikle programmet i en helt annen programvare, som både kan beregne og analysere tall, lagre og presentere resultater, samt være intuitivt og oversiktlig. Dette krever dyptgående kjennskap til relevant programvare.



## 6 Kilder

Belaïd Aouni, O. K. (2001). *Goal programming model: A glorious history and a promising future*.

Hentet 29. april, 2009 fra Science Direct:

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6VCT-438KDHN-1&\\_user=586462&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000030078&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=586462&md5=827398562e9589f3a6fa564f1451e4c5](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCT-438KDHN-1&_user=586462&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000030078&_version=1&_urlVersion=0&_userid=586462&md5=827398562e9589f3a6fa564f1451e4c5)

Christoffersen, Ø. (2009, 14. mai). Byggherrer med langsiktig perspektiv - gir det bedre bygg? *Teknisk Ukeblad*, s. 56.

Eta Energi AS. (2008). Hvordan ta forretningsmessige, miljøvennlige og holdbare strategiske beslutninger?

Expert Choice. (2009). *Markets We Serve*. Hentet 4. april, 2009 fra Expert Choice:

<http://expertchoice.com/markets-we-serve/>

Expert Choice. (2009). *The Methodology behind Expert Choice's solutions*. Hentet 26. mars, 2009 fra Expert Choice: <http://www.expertchoice.com/about-us/our-approach>

F. A. Lootsma \*, H. S. (1996). *The Multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a Common Context*.

Hentet 4. april, 2009 fra Wiley InterScience: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/14595/PDFSTART>

Filho, A. T., Cavalcante, C. A., & da Costa, A. P. (2005). *Multicriteria decision making on selection of decision analysis software*. Hentet 5. mai, 2009 fra AccessMyLibrary:

[http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary\\_0286-16679954\\_ITM](http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-16679954_ITM)

Finan, J. S., & Hurley, W. J. (1999). *Transitive calibration of the AHP verbal scale*. Hentet 4. april, 2009

fra Science direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VCT-3VGS4B7-9/2/9acb70bdc87db73e360b7ecc258bbf61>

Forman, E. H., & Gass, S. I. (2008). *Excerpt from The Analytical Hierarchy Process—An Exposition*.

Hentet 4. mai, 2009 fra <http://www.louis.sander.com/impactd1.htm>

Gass, S. I. (1987). A process for determining priorities and weights for large scale linear goal programmes. *Journal of the Operational Research Society*, 779-785.

Gjerstad, F. O., Hanssen, S. O., Novakovic, V., Skarstein, Ø., & Thue, J. V. (1996). *Enøk i bygninger. Effektiv energibruk*. Universitetsforlaget.

Hsieh, T.-Y., Lu, S.-T., & Tzeng, G.-H. (2004). *Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings*. Hentet 4. mai, 2008 fra Science Direct:

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B6V9V-4BS0FCV-3-3G&\\_cdi=5908&\\_user=586462&\\_orig=search&\\_coverDate=10%2F31%2F2004&\\_sk=999779992&view=c&wchp=dGLzVlz-zSkWA&md5=974a55cfbf7bd5c13d5a42aa94f66a8b&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V9V-4BS0FCV-3-3G&_cdi=5908&_user=586462&_orig=search&_coverDate=10%2F31%2F2004&_sk=999779992&view=c&wchp=dGLzVlz-zSkWA&md5=974a55cfbf7bd5c13d5a42aa94f66a8b&ie=/sdarticle.pdf)

Jean Siskos, G. W.-M. (2003). *Outranking approaches versus MAUT in MCDM*. Hentet 29. april, 2009 fra Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VCT-48NBH4D-240/2/1895a4137c5aaf24c92da1470baa65a3>

Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet. (1997). *Forskrift 1997-01-22 nr 33 om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)*.

Microsoft. (2009). *Choose between Access and Excel*. Hentet 18. mai, 2009 fra Microsoft Office Online:

<http://office.microsoft.com/training/training.aspx?AssetID=RP102540191033&CTT=6&Origin=RP102540181033>

Pöyhönen, M. A., Hämmäläinen, R., & Salo, A. (1997). An Experiment on the Numerical Modelling of Verbal Ratio Statements. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* vol. 6 , 1-10.

Salo, A. A., & Hämmäläinen, R. P. (1997). *On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process*. Hentet 2. april, 2009 fra Wiley InterScience:

<http://www3.interscience.wiley.com/journal/14611/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>

Standard Norge. (1987). *NS 3453:1987 Utgave: 1 Spesifikasjon av kostnader i byggeprosjekt*.

Standard Norge. (2000). *NS 3454:2000 Utgave: 2 Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og struktur*.

Stewart, T. J. (1992). *A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice*. Hentet 2. april, 2009 fra Science Direct:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VC4-48NBYSN-V/2/ce7443e3a7b5decfb2df84f0042695af>

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: Mc Graw-Hill.

University of Oklahoma . (2009). *Decision Analysis*. Hentet 1. april, 2009 fra College of Medicine: <http://www.fammed.ouhsc.edu/tutor/decanal.htm>

Valen, M. S., & Bjørberg, S. (2006). Dynamiske og tilpasningsdyktige bygg i et livsløpsperspektiv. *Drift og vedlikehold*.

Vollan, A. (2006). *Utførlig gjennomgang av tilbudene*. Hentet 13. desember, 2008 fra Direktoratet for nødkommunikasjon: <http://dinkom.no/default.asp?pubid=681&sub=12&pub=1&labb=uk>

Weisstein, E. W. (1999). *Eigenvector*. Hentet 1. juli, 2009 fra MathWorld--A Wolfram Web Resource: <http://mathworld.wolfram.com/Eigenvector.html>

Wong, J. K., & Li, H. (2008). *Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems*. Hentet 7. mai, 2009 fra INIST Diffusion S.A: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=19088427>



## 7 Vedlegg

- Vedlegg 1: Brukermanual for Eta Energis beslutningsstøtteverktøy.
- Vedlegg 2: Utdrag fra fordypningsprosjekt: Norsk verbal skala.
- Vedlegg 3: Utdrag fra fordypningsprosjekt: Fremgangsmåten for AHP.
- Vedlegg 4: Utdrag fra fordypningsprosjekt: Gjennomgang av faktorer i hierarkiet i beslutningsstøtteverktøyet.

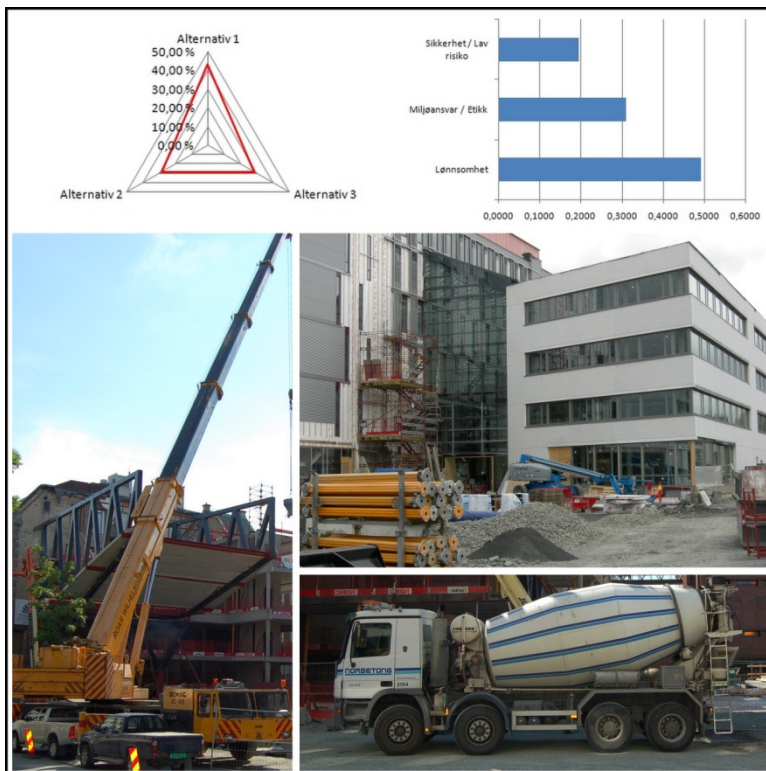




Eta Energi AS:

# Brukermanual for Eta Energis beslutningsstøtteverktøy

Versjon 1.0



Ole Aksel Sivertsen

2. juli 2009

# Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon .....	1
1.1	Generelt om AHP .....	2
1.2	Begrensninger.....	3
2	Gjennomgang av verktøyet i detalj .....	4
2.1	Åpningsvindu .....	4
2.2	Filnavn .....	5
2.3	Hierarki .....	5
2.3.1	Forklaring av faktorer under hovedfaktor <i>Lønnsomhet</i> : .....	6
2.3.2	Forklaring av faktorer under hovedfaktor <i>Miljøansvar/etikk</i> : .....	7
2.3.3	Forklaring av faktorer under hovedfaktor <i>Sikkerhet/Lav risiko</i> .....	8
2.4	Legge inn alternativer.....	8
2.5	Prioritering av faktorer .....	9
2.5.1	Hierarkiet.....	9
2.5.2	Vurderingsskalaen .....	10
2.5.3	Eksempel på vurdering .....	11
2.5.4	Bakgrunn for utregningene .....	12
2.5.5	Fullføre vurderingene av en gren i hierarkiet.....	14
2.5.6	Vurdering av alternativene i forhold til enkeltfaktorer.....	14
2.6	Resultater .....	15
2.7	Grafisk presentasjon av vurderinger og resultater .....	16
2.7.1	Prioriteringer av faktorer.....	16
2.7.2	Head to head-vurderinger .....	17
2.7.3	Fordeling av score.....	18
2.8	Databasegrunnlag.....	19
2.9	Vurdering av resultater .....	22
3	Kilder.....	23

# 1. Introduksjon

Dette verktøyet er utviklet i Microsoft Excel av Eta Energi AS i samarbeid med studentene Anders Lutro Østensen og Håvard Styve ved Høgskolen i Bergen. Verktøyet er videreutviklet av masterstudent Ole Aksel Sivertsen ved institutt for energi- og prosesseteknikk på Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet, NTNU. Verktøyet er ment å brukes på prosjekter i byggebransjen, med det mål å kunne ta tryggere og riktige beslutninger tidlig i prosjektet. Fordelen med dette verktøyet kontra andre verktøy som finnes, er at man på forhånd har kommet frem til relevante faktorer for et byggeprosjekt. Disse faktorene er gruppert i et hierarki som ikke skal endres underveis, men beslutningstaker kan avgjøre hvor mye hver enkelt faktor betyr for ham/henne. Slik kan man gå rett i gang med prioriteringer og vurderinger.

For at programmet skal komme til sin rett bør man gjøre sammenligningene av faktorene og alternativene flere ganger. Personer med ulik bakgrunn kan ha forskjellig syn på hva som er viktig for å få den beste løsningen på problemet, og hvilken løsning som best besvarer de ulike faktorene. I prosjekteringsfasen av et byggeprosjekt bør derfor idéelt sett ingeniører, arkitekter, økonomer, byggherre, fremtidige brukere og fremtidig driftspersonell alle gjøre denne vurderingen. Verktøyet er kun ment som en støtte til beslutninger, og man bør i prosessen også benytte andre metoder for å komme fram til de riktige valgene.

## 1.1 Generelt om AHP

Verktøyet er bygger på metoden *Analytisk hierarki prosess* (Analytic Hierarchy Process, AHP) som er en metode innenfor disiplinen *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) eller Multi Criteria Decision Making (MCDM). Beslutningstaker kan bruke AHP til å sette prioriteringer og velge den beste løsningen på et komplekst problem, når både kvalitative og kvantitative aspekter av avgjørelsen skal behandles. Metoden ble utviklet i USA av *Dr. Thomas L. Saaty* mens han var professor ved Wharton School of Business på 1970-tallet, og har blitt forbedret gjennom de siste tiårene. (Saaty, 1980)

Den generelle fremgangsmåten for AHP kan kort oppsummeres i disse punktene:

1. **Definere problemet** som skal løses.
2. **Definere** hvilke **faktorer** som kan spille en rolle i beslutningsprosessen mot å løse problemet beskrevet i punkt 1. Er det mange faktorer kan det være hensiktsmessig å gruppere dem i et hierarki. I dette verktøyet er disse faktorene allerede definert, og blir presentert senere i manualen. Faktorene er gruppert i et hierarki.
3. **Vurdere** alle **faktorene** *parvis* mot hverandre med tanke på viktighet. Faktorene vurderes etter skalaen presentert i Tabell 1 (Saaty, 1980). Man har både en numerisk og en verbal skala<sup>5</sup>. Den verbale skalaen korresponderer med den numeriske, og er ment å være til hjelp i vurderingsprosessen. I verktøyet bruker man numeriske verdier til beregningene.

Tabell 3: Den verbale skalaen som benyttes i programmet

Numerisk	Verbal (Engelsk)	Verbal (Norsk)
1	Equal importance	Lik viktighet
3	Moderate more important	Klart viktigere
5	Strongly more important	Mye viktigere
7	Very strongly more important	Veldig mye viktigere
9	Extremely more important	Ubetinget mye viktigere

I vurderingsprosessen finnes det mekanismer for å unngå at man er inkonsekvent i vurderingene. Man er inkonsekvent når det ikke er samsvar mellom et sett med vurderinger.

---

<sup>5</sup> Den norske verbale skalaen er oversatt av Ole Aksel Sivertsen.

Disse mekanismene er nærmere beskrevet i den detaljerte gjennomgangen av verktøyet i kapittel 2.

4. **Definere** ulike **løsninger** på problemet som skal løses med modellen.
5. **Vurdere** de ulike **løsningene** *parvis* mot hverandre med tanke på hvordan de besvarer hver enkeltfaktor. I et hierarki er det kun faktorene i nederste nivå av hierarkiet som det blir vurdert mot. Igjen er det mekanismer for å unngå at man er inkonsekvent i vurderingene.
6. **Registrere resultatene** fra vurderingene. Man får en rangering av de ulike løsningene på problemet som er bestemt av vurderingene i steg 3 og 5. Løsningen med høyest score, er den løsningen som best oppfyller beslutningstakers preferanser.

## 1.2 Begrensninger

Programmet legger ikke opp til at beslutningstaker kan velge hvilke faktorer som er med og ikke. De faktorer som er satt inn er der av en grunn, og må holdes fast for at programmet skal fungere. Er det faktorer som er irrelevante kan disse vurderes bort ved hjelp av vurderingsskalaen.

Denne manualen baserer seg på bruk av Microsoft Office 2007, som i skrivende stund er den seneste Office-versjonen. For å ta verktøyet i bruk forutsettes det at MS Excel og MS Access er installert på datamaskinen som brukes, fortrinnsvis 2007-versjonen.

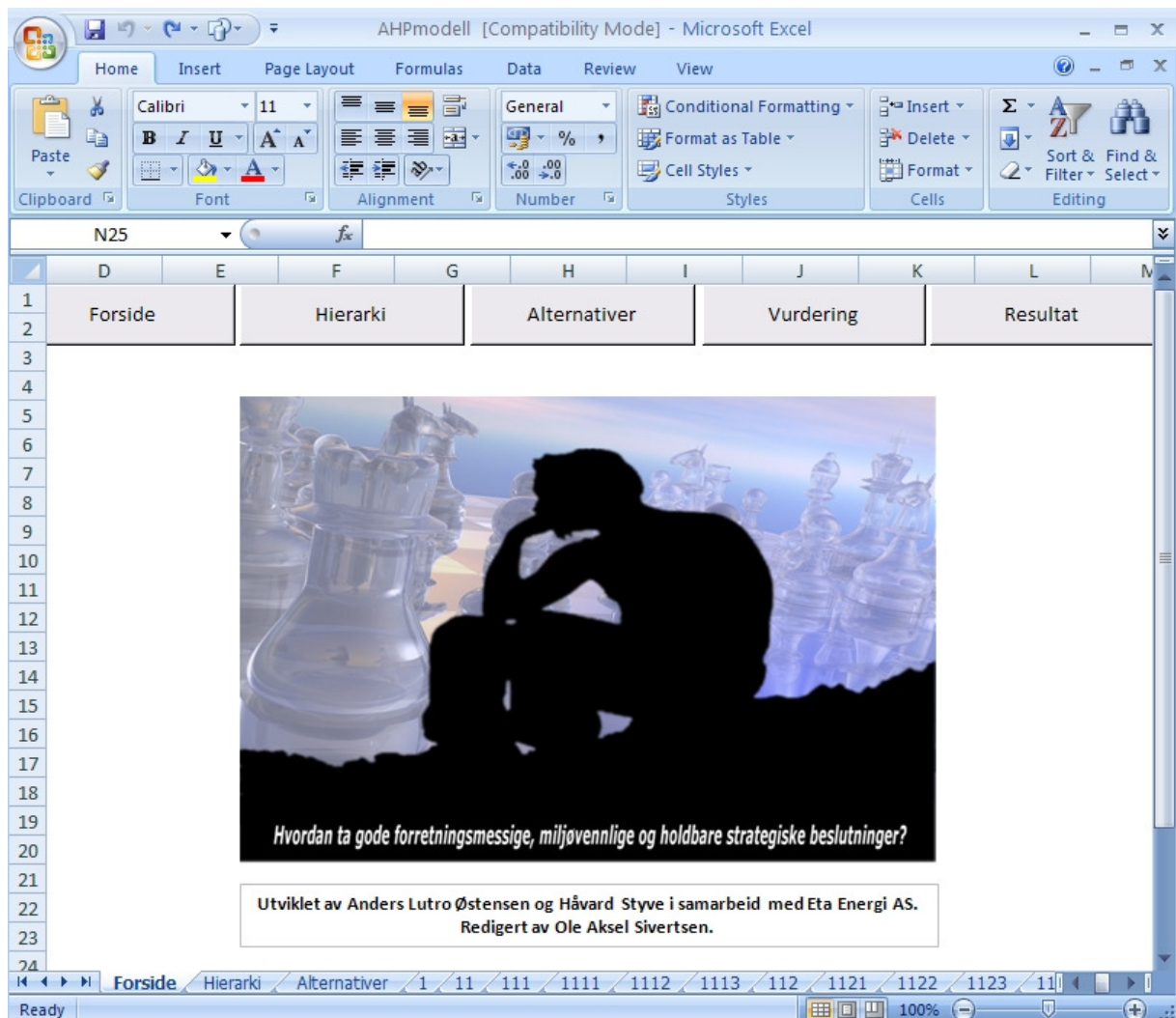
I de påfølgende kapitlene vil beslutningsverktøyet gjennomgås i detalj.

## 2. Gjennomgang av verktøyet i detalj

Verktøyet består av en MS Excel-fil (i to varianter, en 2007-kompatibel og en som er kompatibel med eldre versjoner av Excel), og en MS Access-fil. Det første man gjør er å åpne excelfilen **AHPmodell.xlsm**. For å gjøre dette kreves det at man har installert MS Excel 2007 på datamaskinen. Om man har en eldre versjon av Excel bør man bruke filen **AHPmodell.xls**.

### 2.1 Åpningsvindu

Når man åpner verktøyet excelfil kommer man inn i et åpningvindu. Dette er vist i Figur 8. Som oftest når man åpner denne filen er makroer avslått som et sikkerhetstiltak mot ondsinnet kode, men i dette programmet er det trygt å slå de på. Under oppgavelinjen ligger beskjeden "Security Warning – Macros have been disabled." Trykk på "Options.." og velg "Enable this content". Dette gjør at navigasjonsknappene i verktøyet fungerer.



Figur 8 Forsiden av beslutningsstøtteverktøyet

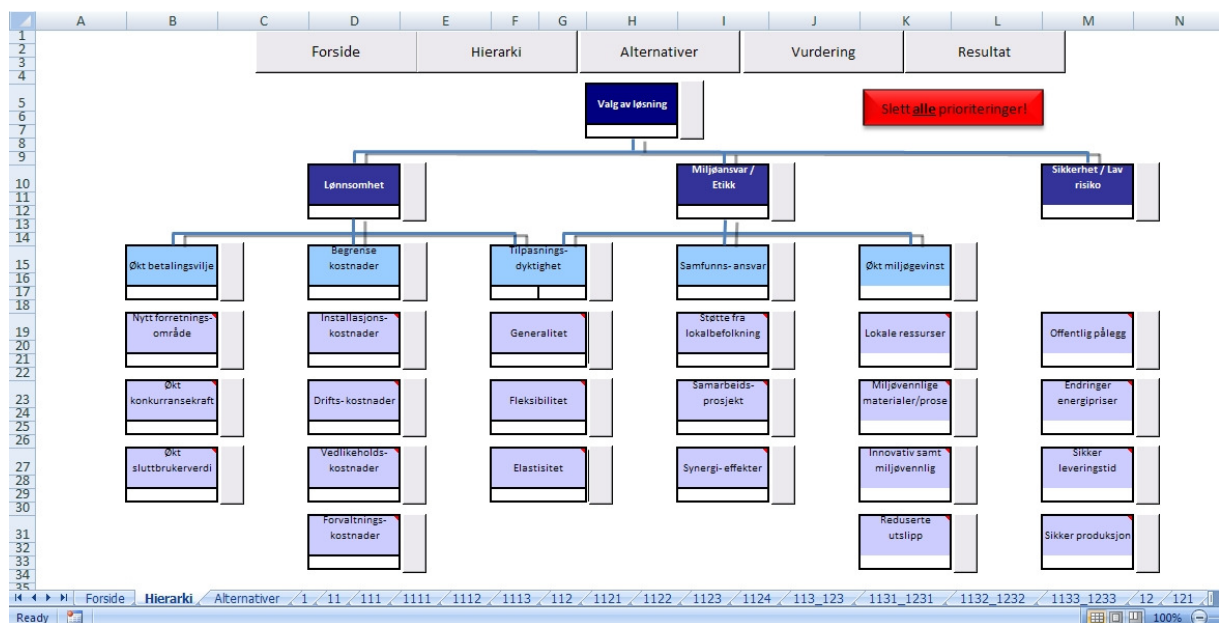
Verktøyet er bestående av flere ark (Worksheets). Når man bruker verktøyet navigerer man igjennom disse arkene. Arkene ligger samlet som faner på en nedre verktøylinje, og her kan man enkelt velge hvilket ark man vil se. Arkene er lagret kronologisk etter når beslutningstaker trenger dem, fra venstre til høyre. Om ikke bildet i Figur 8 vises kan man trykke på fanen **Forside**. Når man har aktivert makroer kan man også benytte knappene som ligger i overkant av alle arkene.

## 2.2 Filnavn

Før man tar i bruk verktøyet anbefales det at man lagrer en ny versjon av programmet, slik at originalfilen kan brukes om igjen på en annen vurdering. Trykk på Officeknappen og Velg "Lagre som.." og finn et passende navn og en plassering for den nye filen.

## 2.3 Hierarki

Det første man bør ta en kikk på er hierarkiet som verktøyet baserer seg på. Dette får man frem ved å velge fanen **Hierarki** i den nedre verktøylinjen eller trykke på knappen **Hierarki** øverst i arket. Skjermbildet som skal vises da er vist i Figur 9. I hierarkiet er alle faktorer som regnes som relevante for et byggeprosjekt sortert i relevante grupper og nivåer. Faktorene kan ikke endres, men som man kan se senere kan man vekte de ut fra viktighet. Det vil si at hvis en faktor er irrelevant kan den "vektes bort" ved hjelp av mekanismene i programmet.



Figur 9: Hierarkiet i beslutningsstøtteverktøyet

Når man åpner excelfilen første gang er denne helt tom for prioriteringer. Senere når man har kommet i gang med verktøyet, kan det være aktuelt å tømme hele filen for prioriteringer. Da

benytter man den røde knappen som heter *"Slett alle prioriteringer"*. Dette sletter **all** informasjon som er lagt inn av beslutningstaker, med unntak av navnene på de ulike alternativer. Dette finnes det en egen knapp for i fanen **alternativer**.

Om man ønsker en forklaring på hva en faktor betyr, kan man holde musepekeren over den for å få dette. Disse forklaringene er også presentert i det påfølgende kapittelet. Det kan være nyttig å ha hierarkiets oppbygning og faktorenes betydning i bakhodet når man prioriterer senere.

### 2.3.1 Forklaring av faktorer under hovedfaktor **Lønnsomhet**:

- **Nytt forretningsområde:** Vil valgte løsning legge til rette for nye forretningsområder med nye og økte inntekter? (Dette kan være salg av energi ved energiløsning eller ny kompetanse for eksempel )
- **Økt konkurransekraft:** Vil valgte løsning være attraktiv for kunder og dermed gi økt konkurransekraft innenfor sektorer i markedet? (Moderne, energieffektive, miljøvennlige bygg er kan gi en konkurransefordel i forhold til mindre moderne bygg. )
- **Økt sluttbrukerverdi:** Vil projektet gi økt sluttbrukerverdi må dette tas hensyn til. Er det for eksempel lagt til rette for et godt innemiljø i et bygg, vil dette gi en økonomisk gevinst i form av økt produktivitet og lavere sykefravær for de ansatte. Dette vil brukere av bygget sette pris på, og man kan oppnå bedre leieinntekter ved utleie eller bedre lønnsomhet for egen bedrift hvis man tar i bruk bygget selv.
- **Investeringskostnader:** Med investeringskostnader menes alle kostnader til oppføring av bygget. Utgifter til prosjektering, administrering, drifting, rigging, material, utstyr, utførelse, tomt og finanseringskostnader hører til investeringskostnader (Standard Norge, 1987).
- **Driftskostnader:** Driftskostnader er kostnader til drift av bygget når det står ferdig. Dette er kostnader til energi, vann og avløp, renhold, avfallshåndtering, vakt og sikring og utendørsarbeid som snømåking, strøing og lignende (Standard Norge, 2000).
- **Vedlikeholdskostnader:** Vedlikeholdskostnader omfatter kostnader til vedlikehold som maling, utskifting av for eksempel lyskilder og materialer samt planlagt vedlikehold innen- og utendørs (Standard Norge, 2000).
- **Forvaltningskostnader:** Forvaltningskostnader omfatter administrasjonskostnader, skatter, avgifter og forsikringer for bygget. Administrasjonskostnader er utgifter til lønn av ansatte, forretningsførsel, internkontroll og lignende (Standard Norge, 2000).
- **Generalitet:** Med generalitet menes hvorvidt lokalene er egnet til annen type bruk, for eksempel endring fra kontorer til boliger. Det som styrer dette etasjehøyden, lastkapasitet, modularitet (muligheter for åpne rom eller avdelinger). I tillegg har riktig bygningsdybde



betydning for alternative innredningsløsninger, teknisk grid og dimensjonering av teknisk infrastruktur og føringsveier har betydning for hvilken type bruk som egner seg (Valen & Bjørberg, 2006). Er valgte løsning god på generalitet er det i dette punktet man tar hensyn til det.

- **Fleksibilitet:** Med fleksibilitet mener man i hvilken grad bygget kan endre for eksempel planløsning innen samme funksjon. Dette er styrt av valg av innerveggløsninger uten bindinger mot vegg og tak i hvilken grad man har lagt tekniske føringer i lettveggene (Valen & Bjørberg, 2006). Er valgte løsning god på fleksibilitet er det i dette punktet man tar hensyn til det.
- **Elastitet:** Elastisitet defineres som mulighet til å endre volum (øke eller redusere areal). I praksis sikres behovet for mer areal ved at det er mulighet for nybygg, tilbygg eller påbygg. For nybygg og tilbygg påvirkes elastisiteten av tilgjengelig tomt og hensiktsmessige ankomstforhold, parkeringsmuligheter med mer. Når det gjelder påbygg har det betydning hvorvidt bæresystem og lastkapasiteter er tilrettelagt for flere etasjer. I elastisitetsbegrepet ligger også mulighet for å redusere areal, det vil si for eksempel å skille ut separate enheter som kan benyttes til andre formål/andre brukere (Valen & Bjørberg, 2006). Er valgte løsning god på elastitet er det i dette punktet man tar hensyn til det.

### 2.3.2 Forklaring av faktorer under hovedfaktor *Miljøansvar/etikk:*

- **Støtte fra lokalbefolkning:** Har prosjektet støtte i lokalbefolkningen eller møter det motstand? Et prosjekt med støtte i lokalbefolkningen har større sjanser for å bli realisert enn et prosjekt som møter motstand. For utbygger handler dette i det lange løp også om omdømme. Et upopulært prosjekt som likevel gjennomføres vil medføre omdømmeproblemer for de involverte.
- **Samarbeidsprosjekt:** Er prosjektet et samarbeidsprosjekt som kan gi positive effekter senere? Samarbeid med viktige lokale eller nasjonale aktører kan gi muligheter for tilsvarende samarbeid senere. Samarbeid med lokale foretak eller kommune viser samfunnsansvar og øker sjansen for at prosjektet blir realisert.
- **Synergi-effekter:** Dersom prosjektet positive ringvirkninger eller effekter utover det prosjektet var ment for, vil dette ha en positiv effekt på om prosjektet blir realisert eller ikke. Dette er også en faktor som kan øke sjansen for at prosjektet blir realisert.
- **Ressursbruk (lokale ressurser):** Vil prosjektet medføre lavere ressursbruk ved å benytte lokale produkter? Å benytte seg av produkter produsert i nærområdet sparer miljøet for unødvendig lang transportvei, samt støtter opp om lokalt næringsliv.

- **Miljøvennlige materialer og prosesser:** Har man fokus på miljø i materialvalg og byggeprosess? Bruk av miljøvennlige materialer vil ha en positiv effekt på miljøet på lang sikt, samt på innemiljøet for de som senere skal benytte bygget. Er fremstillingsprosessen for materialene miljøvennlige? Har de en holdbarhet som ikke krever at de må skiftes ut?
- **Innovativ samt miljøvennlig løsning:** Er løsningen som er valgt mer innovativ enn andre? Skal man bygge etter minimumskravene gitt av lover og standarder, eller kan man tillate seg å ligge foran disse? Er løsningen innovativ, og fremtidsrettet?
- **Reduserte utslipp:** Vil prosjektet føre til reduserte utslipp sammenlignet med tilsvarende prosjekter?

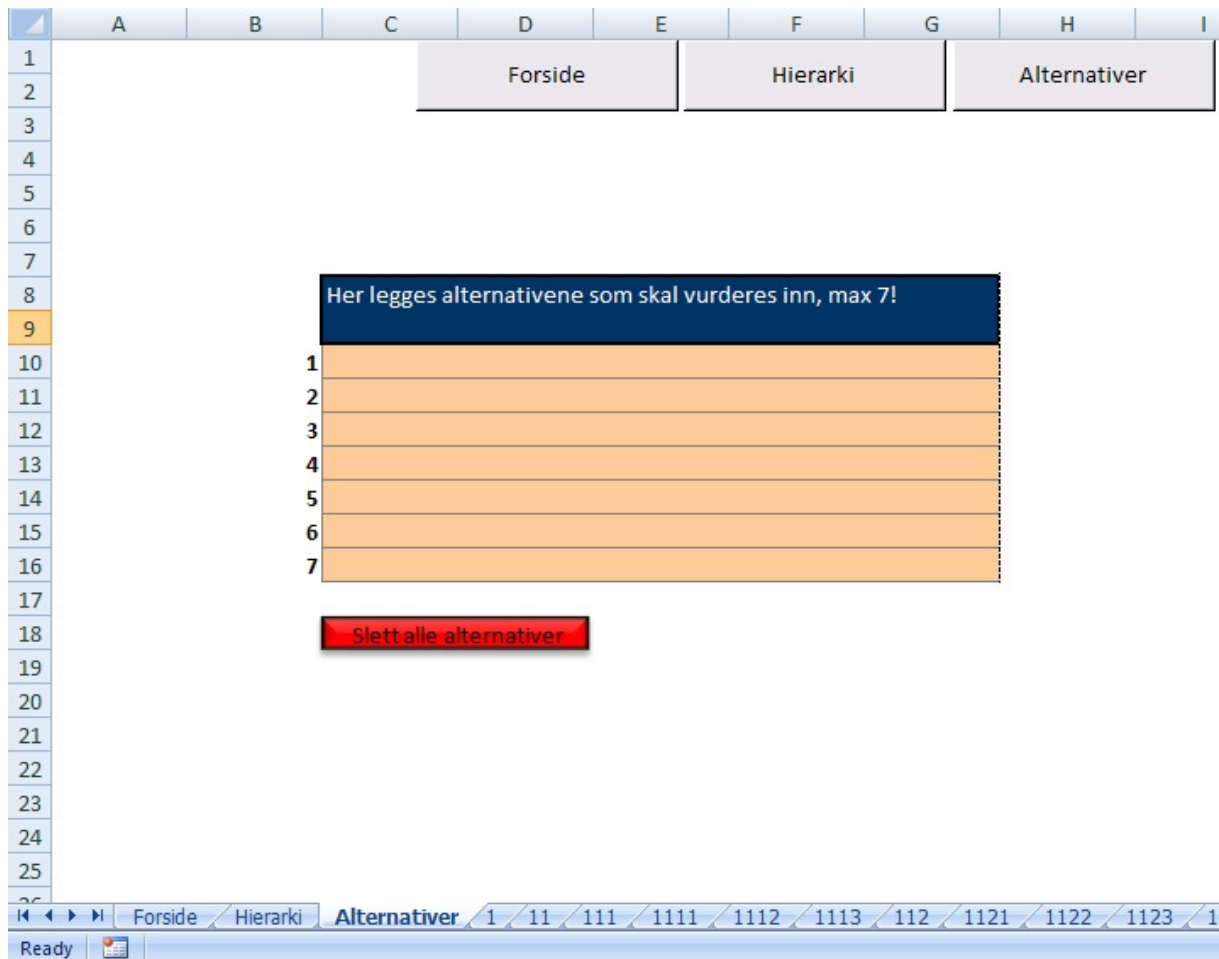
### 2.3.3 Forklaring av faktorer under hovedfaktor *Sikkerhet/Lav risiko*

- **Offentlige pålegg:** I fremtiden kan det hende at endrede lover eller nye forskrifter kan påtvinge ekstrakostnader på bygget, enten i form av at det må endres på, eller at det må betales avgifter fra utslipp. Slike faktorer må tas hensyn til i nye byggeprosjekter. Det kan være vanskelig å spå i fremtiden, men å vurdere den politiske prosessen i forhold til nye krav gjennom for eksempel Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK) (Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet, 1997) vil være aktuelt. Dersom prosjektet er rustet mot slike pålegg i form av fremtidsrettede løsninger, vil dette telle positivt, og vurderes i denne posten.
- **Endringer i energipriser:** Hvordan vil energiprisene utvikle seg i fremtiden? I et næringsbygg må prosjektets energibærere bør vurderes nøye, da valg av løsning på dette området kan være dyrt å endre i fremtiden. En ensidig satsing på for eksempel elektrisitet vil kunne straffe seg i fremtiden. Er det fjernvarme tilgjengelig i nærheten, eller finnes det muligheter for varmepumper? Handler prosjektet om utbygging av energi, vil energiprisen ha enda større betydning.
- **Sikker leveringstid:** Vil valgte løsning kunne gjennomføres innenfor de fastsatte tidsrammer? En entreprenør med gode referanser vil for eksempel være å foretrekke foran en uten.
- **Sikker produksjon:** Vil valgte løsning gi sikker produksjon? Er det lagt opp til gode rutiner rundt helse, miljø og sikkerhet? Å gjennomføre et prosjekt uten arbeidsuhell vil være positivt på alle måter, og bør vektlegges.

## 2.4 Legge inn alternativer

De første innparametere beslutningstaker må legge inn er de ulike alternativer til løsning på problemet som skal løses. Dette kan for eksempel være ulike tilbud i en tilbudskonkurranse. For å

legge inn alternativene må man velge fanen eller knappen **Alternativer**. Man får da opp arket hvor man kan legge inn alternativer. Det er en begrensning på sju alternativer og man navngir alternativene fritt etter eget ønske. Det er viktig at alternativene navngis slik at beslutningstaker senere kan skille dem fra hverandre i beslutningsprosessen. Figur 10 viser skjermbildet.



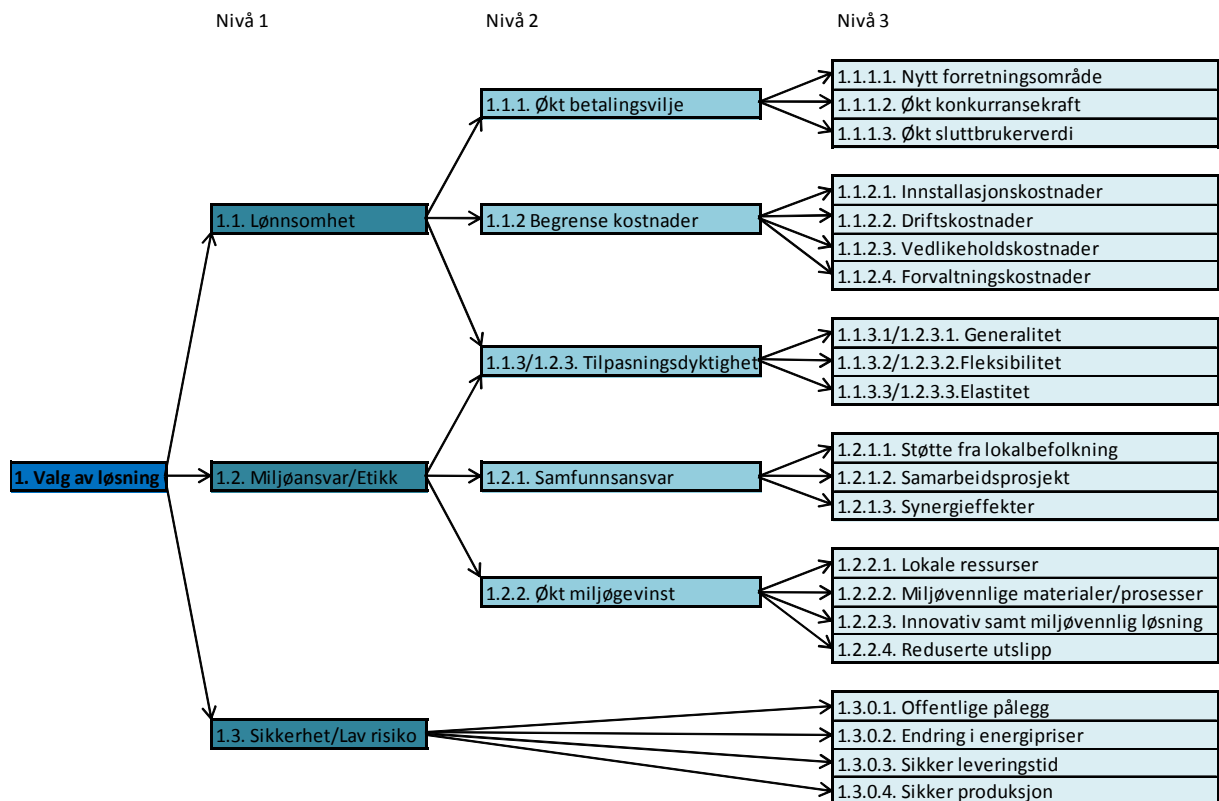
Figur 10: Ark for innlegging av ulike alternativer i beslutningsverktøyet

Om man ønsker å ta vekk alternativene man har skrevet inn trykker man på knappen "Slett alle alternativer". Når man har navngitt alle alternative løsninger er man klar til å begynne å prioritere.

## 2.5 Prioritering av faktorer

### 2.5.1 Hierarkiet

Det gjøres en **parvis** sammenligning av faktorene i hierarkiet. Fordelen med hierarkiet er her at man ikke trenger å vurdere alle faktorer mot alle, da man i stedet grupperer faktorer i relevante grupper. Hierarkiet består av tre nivåer og faktorene skal kun vurderes mot andre faktorer i samme nivå og samme undergruppe. Faktorene i hierarkiet er vist i Figur 11 og oppbygningen er identisk med hierarkiet vist i Figur 9.



Figur 11: Hierarkiet av faktorer som har betydning i et byggeprosjekt.

Om man er usikker på vurderingene man skal gjøre kan man åpne accessfilen **Tidligere vurderinger.accdb** og se hva andre har vurdert som viktig og ikke. Dette er valgfritt.

## 2.5.2 Vurderingsskalaen

Når man vurderer bruker man Saaty's 1-9-skala, gitt i Tabell 4 (Saaty, 1980). I programmet bruker man tallverdiene, og det er valgfritt om man støtter seg til de korresponderende verbale uttrykkene.

Tabell 4: Saaty's 1-9-skala med engelsk og norsk verbalskala

Numerisk	Verbal (Engelsk)	Verbal (Norsk)
1	Equal importance	Lik viktighet
3	Moderate more important	Klart viktigere
5	Strongly more important	Mye viktigere
7	Very strongly more important	Veldig mye viktigere
9	Extremely more important	Ubetinget mye viktigere

Når man vurderer kan man også bruke inversverdiene av disse sifrene. Dette gjøres i de tilfeller hvor faktor 1 er mindre viktig enn faktor 2. Sagt på en annen måte; er faktor 2 for eksempel "klart viktigere" enn faktor 1 (numerisk verdi 3), må man sette inn verdien 1/3 fordi tabellen er bygd opp slik at man vurderer hvor viktig faktor 1 er i forhold til faktor 2, og ikke hvor viktig faktor 2 er i forhold til faktor 1.

### 2.5.3 Eksempel på vurdering

På nivå 1 i hierarkiet har man de hovedfaktorer som betyr noe for løsning av problemet. Disse er *Lønnsomhet*, *Miljøansvar/Etikk* og *Sikkerhet/Lav risiko*. I første omgang vurderer man bare disse tre mot hverandre med tanke på viktighet. Dette gjør man ved å navigere seg videre i den nedre verktøylinjen, og velger fanen som heter **1**. Om man har arket med hierarkiet opp kan man også trykke på knappen ved siden av **Valg av løsning**. Man får da opp arket som er vist i Figur 12.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Forside		Tilbake til hierarki		Alternativer	
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8	<b>Navn på post:</b>	<b>1 - Valg av løsning</b>					
9	<b>Parvis vurdering av poster</b> Evaluér viktighet mellom de forskjellige postene/faktorene på en skala fra 1 til 9. For eksempel er 3 gitt når faktor 1 (skrevet vannrett) er klart viktigere enn faktor 2 (skrevet loddrett) Skala som skal brukes: 1=like viktig, 3=klart viktigere, 5= mye viktigere, 7= veldig mye viktigere og 9=ubetinget viktigere Dersom faktoren skrevet loddrett er viktigere brukes inversverdiene av skalaen, det vil si 1/1=like viktig, 1/3=klart viktigere, 1/5= mye viktigere osv.	Lønnsomhet	Miljøansvar / Etikk	Sikkerhet / Lav risiko	Geometrisk gjennomsnitt	Normalisert egenvektor	
10	Lønnsomhet	1					
11	Miljøansvar / Etikk		1				
12	Sikkerhet / Lav risiko			1			
13							
14							
15	Inkonsekvent resonering	#VALUE!	Holdes under 10%				
16							
17							
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>Hierarki Alternativer</span> <span>1 11 111 1111 1112 1113 112 1121 1122 1123 1124</span> </div>							

Figur 12: Eksempel på vurdering av faktorer i beslutningsverktøyet

I verktøyet tar man alltid utgangspunkt i faktorene som ligger til venstre for tabellen, skrevet vannrett. Når man skal vurdere plasserer man kun tall i de rutene som er farget oransje. Man kan

altså benytte hele skalaen fra 1/9 til 9. Om man mener at Lønnsomhet er tre ganger så viktig som Miljøansvar/Etikk så setter man tallet 3 i ruten hvor de to faktorene møtes. Om man derimot mener at Miljøansvar/Etikk er tre ganger så viktig som Lønnsomhet, må man skrive brøken 1/3 i ruten. Programmet beregner selv inversverdiene av vurderingene som er skrevet inn i de oransje feltene. Inversverdiene kommer opp i de korresponderende hvite feltene. Dessuten beregnes geometrisk gjennomsnitt, normalisert egenvektor<sup>6</sup> samt verdi for inkonsekvent resonnering. Disse er nærmere beskrevet nedenfor. Sistnevnte verdi må holdes under 10 % for at vurderingene skal være gode nok.

#### 2.5.4 Bakgrunn for utregningene

- **Geometrisk gjennomsnitt:** Det geometriske gjennomsnittet beregnes for hver faktor etter denne formelen:

$$GM = \sqrt[3]{(Vurdering1 \times Vurdering2 \times Vurdering3)}$$

(Denne formelen gjelder når man har 3 faktorer)

- **Normalisert egenvektor:** Den normaliserte egenvektoren er gitt av denne formelen:

$$NE = \frac{GM_{Faktor\ 1}}{GM_{Faktor\ 1} + GM_{Faktor\ 2} + GM_{Faktor\ 3}}$$

(Denne formelen gjelder for 3 faktorer)

- **Inkonsekvent vurdering:** For at vurderingene skal være holdbare må han være konsekvent i vurderingene. I programmet beregnes en faktor for om man er inkonsekvent eller ikke. Denne faktoren skal ikke overstige 10 %. For å forklare hvordan den beregnes tas det utgangspunkt i et eksempel fra programmet, se Figur 13.

---

<sup>6</sup> *Eigenvektor* eller *eigenvektor* defineres som en vektor som ved lineær transformasjon kan endre lengde men vil beholde den samme retningen. For hver eigenvektor av en lineær transformasjon er det en korresponderende skalarverdi som betegnes som *eigenvalue* eller egenverdi (Weisstein E. W., 1999)

	A	B	C	D	E	F	G
1		Forside		Tilbake til hierarki		Alternativer	
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8	<b>Navn på post:</b>	<b>1 - Valg av løsning</b>					
9	<b>Parvis vurdering av poster</b> Evaluér viktighet mellom de forskjellige postene/faktorene på en skala fra 1 til 9. For eksempel er 3 gitt når faktor 1 (skrevet vannrett) er klart viktigere enn faktor 2 (skrevet loddrett) Skala som skal brukes: 1=like viktig, 3=klart viktigere, 5=mege viktigere, 7=veldig mye viktigere og 9=ubetinget viktigere Dersom faktoren skrevet loddrett er viktigere brukes inversverdiene av skalaen, det vil si 1/1=like viktig, 1/3=klart viktigere, 1/5=mege viktigere osv.	Lønnsomhet	Miljøansvar / Etikk	Sikkerhet / Lav risiko	Geometrisk gjennomsnitt	Normalisert egenvektor	
10	Lønnsomhet	1	2	3	1,82	0,5396	
11	Miljøansvar / Etikk	1/2	1	2	1,00	0,2970	
12	Sikkerhet / Lav risiko	1/3	1/2	1	0,55	0,1634	
13							
14							
15	Inkonsekvent resonering	0,88%	Holdes under 10%				
16							
17							
<span>Hierarki</span> <span>Alternativer</span> <b>1</b> 11 111 1111 1112 1113 112 1121 1122 1123 1124 113							
Ready							

Figur 13: Eksempel på vurdering i beslutningsstøtteverktøyet for forklaring av inkonsekvent vurdering

I Figur 13 er det gjort en vurdering av viktigheten av faktorene, og den inkonsekvente vurderingsfaktoren er på 0,88 %, noe som er meget bra. Faktoren beregnes slik:

- Man finner en ny vektet sum for hver faktor. Denne deles på faktorens normaliserte egenvektor. For faktorene *lønnsomhet*, *miljøansvar/etikk* og *sikkerhet/lav risiko* i eksempelet finner man disse ved å beregne ut fra følgende celler i Excelarket gitt i Figur 13:

$$\text{Vektet sum lønnsomhet} = \frac{B10 \times F10 + C10 \times F11 + D10 \times F12}{F10}$$

$$\text{Vektet sum miljøansvar/etikk} = \frac{B11 \times F10 + C11 \times F11 + D11 \times F12}{F11}$$

$$\text{Vektet sum sikkerhet/lav risiko} = \frac{B12 \times F10 + C12 \times F11 + D12 \times F12}{F12}$$

- Gjennomsnittet av verdiene i punkt 1;  $\Delta$ , brukes videre i beregningene.

I dette eksempelet blir  $\Delta = 3,009.6$

3. Kalkulerer consistency index ( $CI$ ):

$$CI = \frac{\Delta - n}{n - 1} = \frac{3,009 - 3}{3 - 1} = 0,004633$$

( $n$  er antall faktorer i matrisen, i dette eksempelet er  $n = 3$ .)

4. Regner ut inkonsekvensfaktoren, (Consistency ratio,  $CR$ ) ved hjelp av  $RI$

$RI$  er et tall avhengig av antall kriterier og er gitt av tabell 3:

Tabell 5: Verdier på  $RI$  ved ulike  $n$

$n$	3	4	5	6	7	8
$RI$	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

Ved  $n = 3$  får vi  $RI = 0,58$

Det gir consistency ratio (Faktoren for inkonsekvent vurdering),  $CR$ :

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,004633}{0,58} \cong 0,8 \%$$

Denne verdien er som nevnt godt innenfor grensen på 10 %.

### 2.5.5 Fullføre vurderingene av en gren i hierarkiet

Når vurderingen i fane **1** er gjort, går man videre til fane **11**. I denne gjør man vurderingen av underfaktorene av *lønnsomhet*. (*Økt betalingsvilje, begrense kostnader og tilpasningsdyktighet*.) I fane **111** gjør man videre en vurdering av underfaktorene av *økt betalingsvilje* (*Nytt forretningsområde, økt konkurransekraft og økt sluttbrukerverdi*), og har etter denne vurderingen vurdert ferdig en gren av hierarkiet. (Se Figur 9 eller Figur 11.)

### 2.5.6 Vurdering av alternativene i forhold til enkeltfaktorer

De tre faktorene ytterst på den ferdigvurderte grenen, *nytt forretningsområde, økt konkurransekraft og økt sluttbrukerverdi* er nå gitt en verdi på hvor viktige de er i totalsammenhengen. De alternative løsningene kan nå vurderes i forhold til hver av disse faktorene. Dette gjøres ved at man ser på to alternativer om gangen, og ser hvilket av disse to som best besvarer en av faktorene. Dette gjøres i fanene **1111**, **1112** og **1113**. I hver fane vurderes alle alternativene parvis mot hverandre i forhold til



én faktor. Her vil alternativene som tidligere ble lagt inn i fanen **Alternativer** ligge klare, slik at de de blir tatt hensyn til. Om man har lagt inn tre alternative løsninger, for eksempel "Alternativ 1", "Alternativ 2" og "Alternativ 3" vil disse vises slik eksempelet i Figur 14 viser. Når man, som i dette eksempelet, kun har tre alternativer, setter man følgelig kun siffer i de rutene som tilhører disse. De andre lar man stå tomme.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Forside		Tilbake til hierarki		Alternativer		Vurdering		Resultat	
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8	Vurdering gjøres i forhold til: 1111 - Nytt forretningsområde										
9	<b>Parvis vurdering av alternativer</b> Evaluer kvaliteten mellom de forskjellige postene/alternativene på en skala fra 1 til 9. For eksempel er 1 gitt når post 1 (vannrett) har samme kvalitet/verdi som post 2 (loddrett), og 9 er gitt hvis post 1 er vurdert som ubetinget viktigere enn post 2. Hvis post 2 er vurdert som viktigere enn post 1 brukes inversverdien av skalaen.	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3					Geometrisk gjennomsnitt	Normalisert egienvector	
10	Alternativ 1	1	2	1					1,26	0,4000	
11	Alternativ 2	1/2	1	1/2					0,63	0,2000	
12	Alternativ 3	1	2	1					1,26	0,4000	
13											
14											
15											
16											
17											
18	Inksekvent resonering:	0,00%	Holdes under 10%								
19											
Hierarki Alternativer 1 11 111 1111 1112 1113 112 1121 1122 1123 1124 113_123 1131_1231 1132_1232 1133_1233											

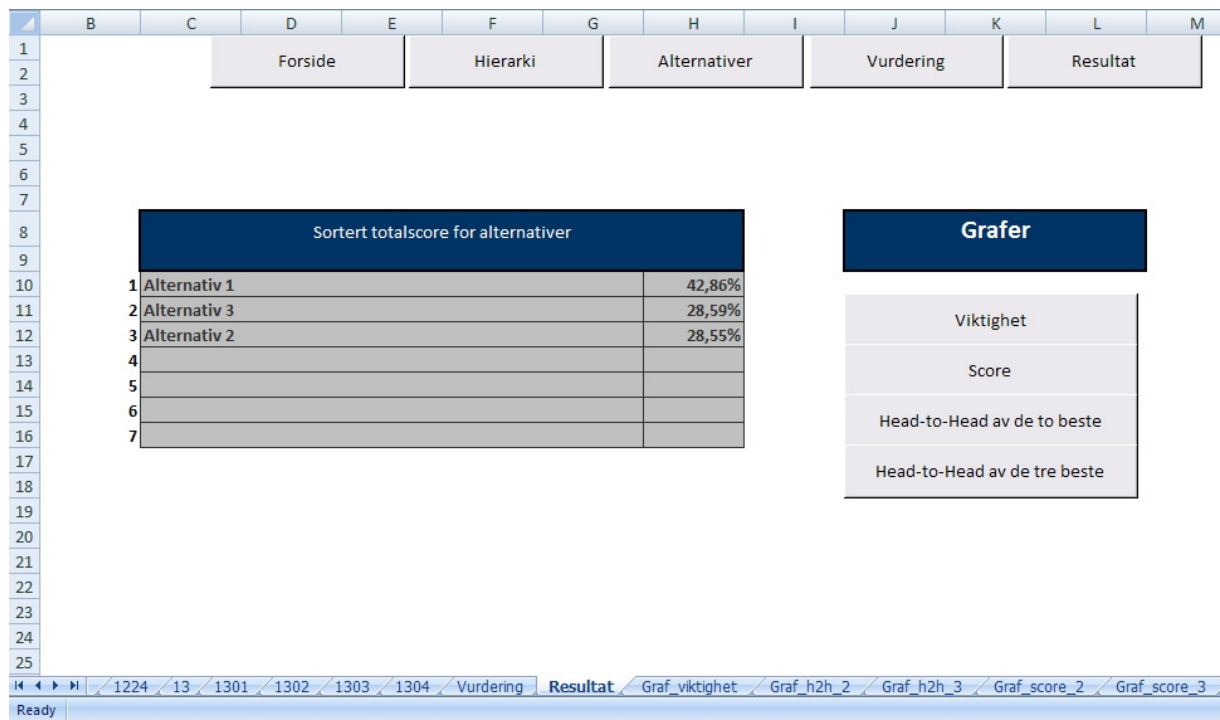
Figur 14: Vurdering av alternativer i forhold til faktoren "Nytt forretningsområde" i beslutningsverktøyet

Man bruker Saatys 1-9-skala også i denne vurderingen. Når man har gjort alle vurderinger i fanene **1111**, **1112** og **1113**, går man videre i programmet og fortsetter den samme prosedyren til man har gjort alle vurderingene som trengs. Hver gang man har prioritert ferdig en gren av hierarkiet, vurderer man de ulike alternative løsningene i forhold til faktorene på denne grenen. Tilslutt skal man ha vurdert i alle fanene fra fane **1** til fane **1304**, totalt 30 faner.

## 2.6 Resultater

Resultatet av hvilke alternativer som kommer best ut presenteres på flere måter. Hvert alternativ får en totalscore ut fra prioriteringene som er gjort. Denne totalscoren er det endelige svaret på vurderingene som er gjort og man finner den ved å trykke på fanen **Vurdering** eller **Resultat**. I fanen **Vurdering** finner man detaljert informasjon om hvor de ulike alternativene scorer prosentpoengene. I fanen **Resultat** er kun sluttresultatet presentert, og alternativene er sortert etter hvem som scorer

høyest. Et eksempel på dette er vist i Figur 15. Det alternativ med høyest totalscore er det alternativ som best besvarer beslutningstakers preferanser.



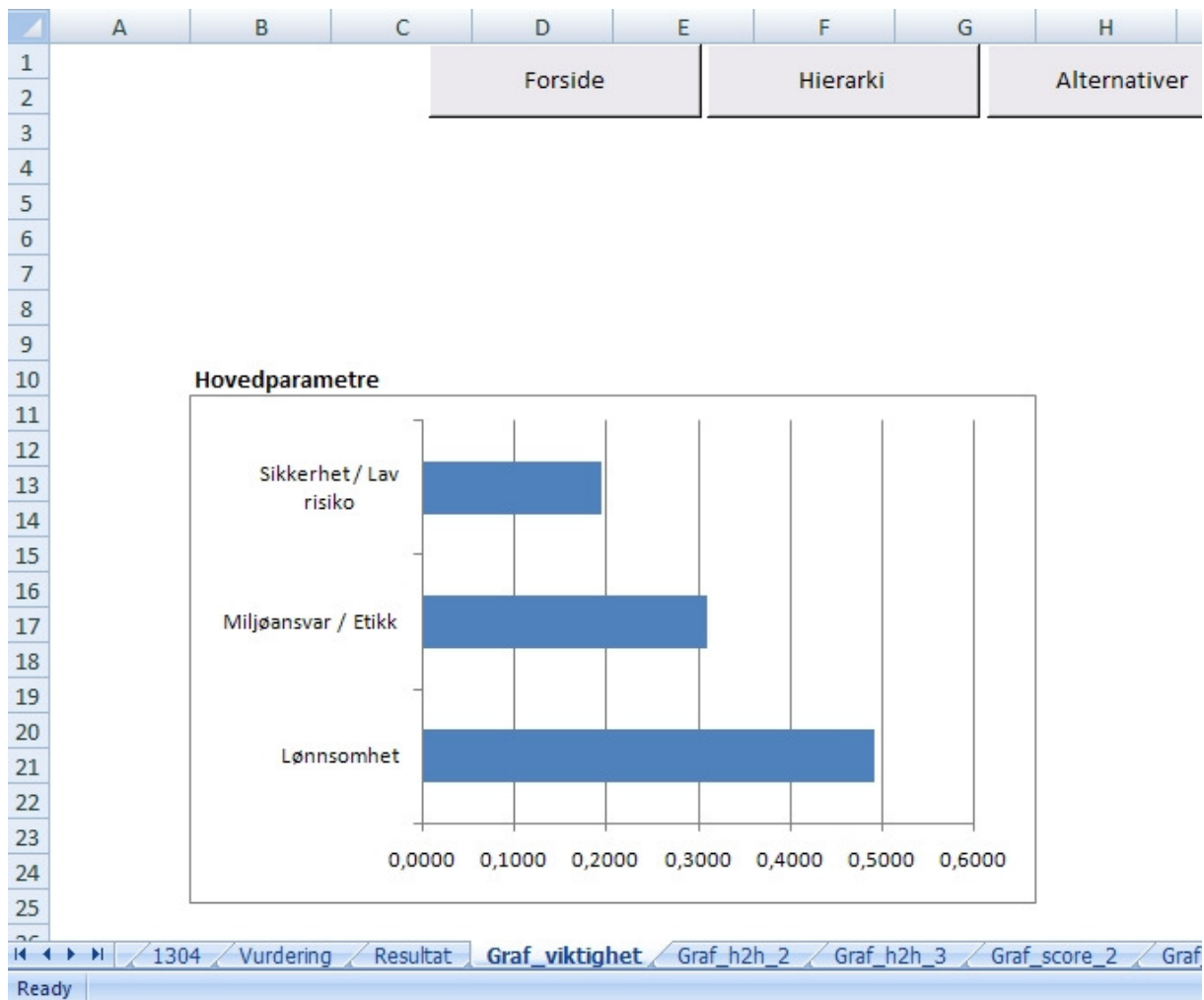
Figur 15: Resultat av en vurdering gjort i beslutningsverktøyet

## 2.7 Grafisk presentasjon av vurderinger og resultater

Videre i programmet presenteres prioriteringer og resultater grafisk, slik at beslutningstaker kan gå inn å se på spesifikke detaljer om vurderingene han eller hun har gjort. Disse kan brukes for å presentere resultatene på en oversiktlig måte for andre aktører i prosjektet.

### 2.7.1 Prioriteringer av faktorer

I fanen **Graf\_viktighet** er prioriteringer av faktorenes viktighet presentert grafisk. Her er hele hierarkiet representert med ulike grafer. Figur 16 viser grafen for hovedparametrene, men om man ruller vinduet nedover får man grafer for alle faktorene som er vurdert.

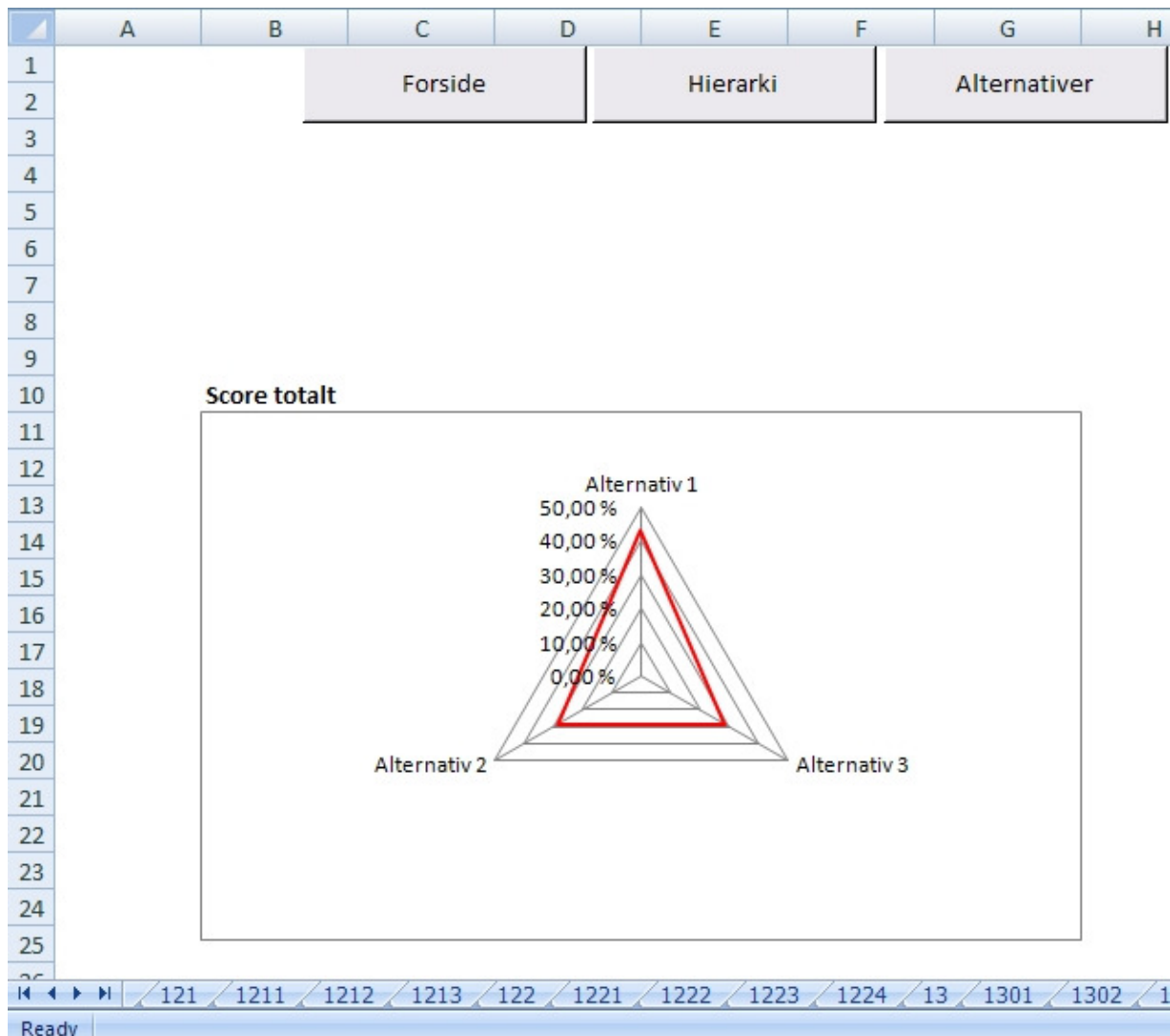


Figur 16: Grafisk visning av viktighet av faktorer i beslutningsverktøyet

Dette materialet er utmerket til presentasjon av hva som er viktig for oppdragsgiver i en byggeprosess, og kan være grunnlag for hva ulike anbydere skal by på.

### 2.7.2 Head to head-vurderinger

For å se hvor de ulike alternative løsningene scorer best kan man se på den grafiske fremstillingen av alternativene "Head to head". Her presenteres de tre beste alternativene mot hverandre i forhold til hver av faktorene som det er vurdert mot. Eksempel på dette vises i Figur 17. Hver av de tre alternativenes score representeres her av hvert sitt hjørne i den røde trekanten. Fra 0 %, som er i sentrum, representerer de grå trekantene en økning på 10 prosentpoeng hver. I dette eksempelet kan man da lese at Alternativ 1 scorer i overkant av 40 %, mens Alternativ 2 og Alternativ 3 scorer i underkant av 30 %.

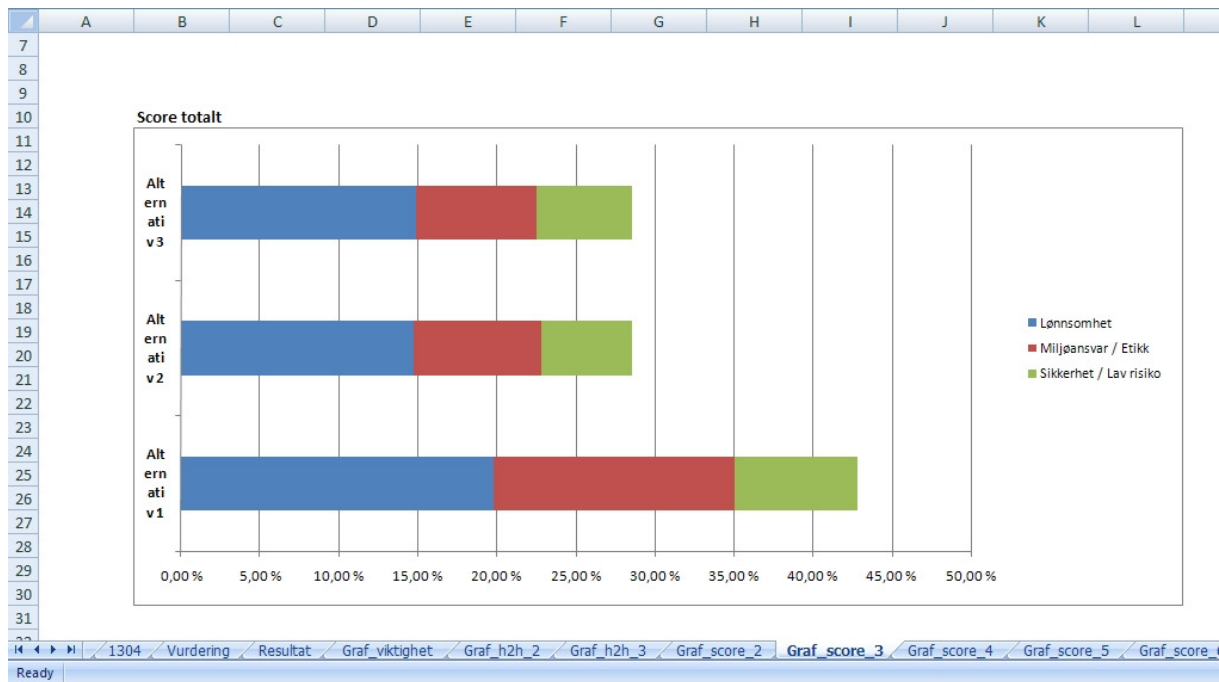


Figur 17: Eksempel på head to head vurdering i beslutningsverktøyet

Også her kan man rulle bildet nedover og se hvordan alternativene scorer i forhold til forskjellige faktorer. I Figur 17 er det totalscoren for de tre beste alternativene som vises.

### 2.7.3 Fordeling av score

Man kan også se grafisk hvordan de ulike alternativene scorer på de enkelte faktorene. Her må man velge fanen **Graf\_score\_x**, hvor x er antall alternativer. Det vil si: Har man tre alternativer, velger man **Graf\_score\_3**. I Figur 18 vises et eksempel på hvordan de tre alternativene scorer på nivå 1 i hierarkiet.



Figur 18: Grafisk visning av hva de ulike alternative løsningene scorer best på i beslutningsverktøyet

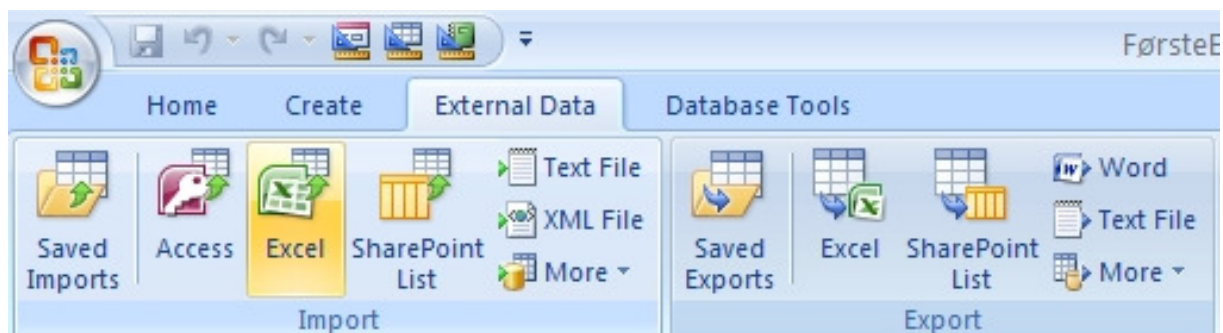
Om man ruller bildet nedover får man score for andre deler av hierarkiet.

## 2.8 Databasegrunnlag

Om man er fornøyd med de prioriteringer som er gjort, og man ønsker å beholde dem til senere, kan man lagre det som er gjort. For å få lagret prioriteringene på en oversiktlig måte slik at disse også kan brukes senere av andre, er det lagt opp til at data kan eksporteres og lagres i Microsoft Access. Under fanen **Databasegrunnlag** er alle prioriteringer av faktorene samlet og klargjort for eksport.

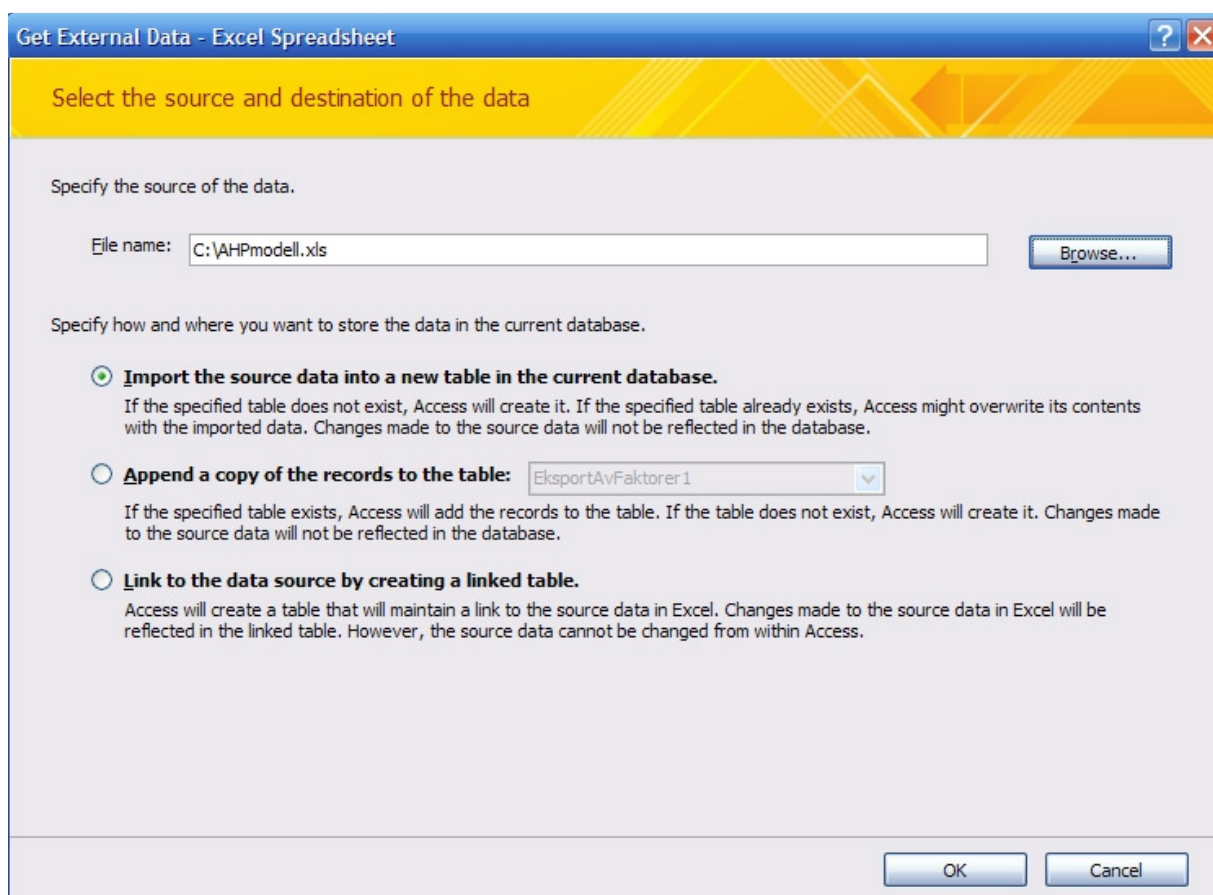
Dataene må eksporteres manuelt. Dette gjøres ved å følge denne fremgangsmåten:

1. Sørg for å lagre det som er gjort i Excel, slik at alt blir med når det eksporteres.
2. Åpne filen accessfilen **Tidligere vurderinger.accdb** i MS Access. Dette forutsetter at MS Access finnes på pcen som benyttes.
3. I den øvre fanen i MS Access; velg "External Data". Velg deretter "Excel" i kategorien Import slik Figur 19 viser.



Figur 19: Navigering i den øvre fanen i MS Access

- Man får da opp et vindu hvor man skal velge hvilken fil det skal importeres fra, og hvordan det skal lagres. Dette vises i Figur 20.



Figur 20: Import av data fra Excel til Access

Trykk "Browse" for å finne Excel-filen som er lagret med alle vurderingene. Sørg deretter for at valget "Import the source data into a new table in the current database." er markert. Trykk deretter "OK" for å komme videre.

- Siden Excel-filen består av flere ark (Worksheets) må man velge hvilket ark man ønsker å eksportere. Velg arket **Databasegrunnlag** og trykk "Next" for å gå videre.

6. Hvis det ikke allerede er valgt, sørg for at "First Row Contains Column Headings" er valgt og trykk "Next" for å gå videre.
7. Access lar brukeren spesifisere informasjon om feltene som importeres, men velger også automatisk det som passer best. Gå derfor videre ved å trykke "Next".
8. Sørg for at valget "Let Access add primary key" er valgt og trykk "Next" for å gå videre. Primary keys (Primærnøkler) gjør det enklere for bruker å bruke dataene senere.
9. Velg navn på tabellen som det importeres til. Navnet på tabellen bør inneholde informasjon om hvilket type byggeprosjekt det er, og hvor det er. Tabellnavn som "Sykehus\_Østlandet" eller "Kontorbygg\_Bergen" er eksempel på gode navn som sier noe om hvilke prosjekter som er vurdert. Sørg for at ruten merket "I would like a wizard to analyze my table after importing the data" ikke er huket av og trykk "Finish".
10. Man får nå et spørsmål om man skal lagre importstegene. Det er ikke nødvendig, så ikke merk boksen "Save import steps". Trykk "Close".
11. Vurderingene gjort i Excel skal nå være lagret i en ny tabell i databasen. Velg tabellen i navigasjonspanelet til venstre for å se at alt stemmer. Brøker blir omgjort til desimaltall i Access. For å få frem oversiktlige tall må formatet på kolonnen for Vurdering endres. Marker hele kolonnen ved å trykke på overskriften Vurdering. Velg deretter fanen "Datasheet" under "Table tools" i toppmenyen. I boksen "Datatype & formatting", velg format: "Standard". Tabellen skal se ut som tabellen i Figur 21.



ID	Faktor 1	Faktor 2	Vurdering
1	Lønnsomhet	Miljøansvar / Etikk	3
2	Lønnsomhet	Sikkerhet / Lav risiko	2
3	Miljøansvar / Etikk	Sikkerhet / Lav risiko	5
4	Økt betalingsvilje	Begrense kostnader	1
5	Økt betalingsvilje	Tilpasningsdyktighet	2
6	Begrense kostnader	Tilpasningsdyktighet	3
7	Nytt forretningsområde	Økt konkurransekraft	1
8	Nytt forretningsområde	Økt sluttbrukerverdi	2
9	Økt konkurransekraft	Økt sluttbrukerverdi	3
10	Installasjonskostnader	Driftskostnader	1
11	Installasjonskostnader	Vedlikeholdskostnader	2
12	Installasjonskostnader	Forvaltningskostnader	3
13	Driftskostnader	Vedlikeholdskostnader	4
14	Driftskostnader	Forvaltningskostnader	5
15	Vedlikeholdskostnader	Forvaltningskostnader	6
16	Generalitet	Fleksibilitet	1
17	Generalitet	Elastitet	2
18	Elastitet	Fleksibilitet	3
19	Samfunnsansvar	Økt miljøgevinst	1
20	Samfunnsansvar	Tilpasningsdyktighet	2
21	Økt miljøgevinst	Tilpasningsdyktighet	3
22	Støtte fra lokalbefolkning	Samarbeidsprosjekt	1
23	Støtte fra lokalbefolkning	Synergieffekter	2
24	Samarbeidsprosjekt	Synergieffekter	3
25	Lokale ressurser	Miljøvennlige materialer / prosesser	1

Figur 21: Ferdig eksportert tabell fra Excel til Access

12. De nye vurderingene er nå lagret i Access og programmet kan lukkes. Disse kan nå brukes som støtte for nye beslutningstakere ved senere anledninger.

## 2.9 Vurdering av resultater

Etter at man har eksportert alle faktorene har man fullført alle oppgavene i verktøyet. Nå kan man velge å gjøre nye vurderinger, eller gå videre med de man allerede har. Det er viktig å være kritisk til de vurderingene som er gjort, og være klar over at med så mange prioriteringer som det er gjort, fort kan være noen feil. Derfor kan det være lurt å gjøre prioriteringen flere ganger, for å se om man kommer frem til nogenlunde samme resultat igjen.

Det kan være små forskjeller som tilslutt blir utslagsgivende, og derfor bør ikke programmet tillegges for mye makt; det skal fungere som støtte til beslutninger.



### 3 Kilder

Expert Choice. (2009). *The Methodolgy behind Expert Choice's solutions*. Retrieved 03 26, 2009, from Expert Choice: <http://www.expertchoice.com/about-us/our-approach>

Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet. (1997). *Forskrift 1997-01-22 nr 33 om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)* .

Standard Norge. (1987). *NS 3453:1987 Utgave: 1 Spesifikasjon av kostnader i byggeprosjekt*.

Standard Norge. (2000). *NS 3454:2000 Utgave: 2 Livssykluskostnader for byggverk - Prinsipper og struktur*.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: Mc Graw-Hill.

Valen, M. S., & Bjørberg, S. (2006). Dynamiske og tilpasningsdyktige bygg i et livsløpsperspektiv. *Drift og vedlikehold* .

Weisstein, E. W. (1999). *Eigenvector*. Hentet 1. juli, 2009 fra MathWorld--A Wolfram Web Resource: <http://mathworld.wolfram.com/Eigenvector.html>



## Vedlegg 2: Utdrag fra fordypningsprosjektet: Norsk verbal skala

Den opprinnelige verbale skalaen presentert av Saaty korresponderer med 1-9-skalaen og er på engelsk (Saaty, 1980). Den består av vektingene «equal importance», «weakly more important», «strongly more important», «very strongly more important» og «absolutely more important» (Saaty, 1980). Tabell 1 viser sammenhengen mellom den numeriske og den verbale skalaen.

Tabell 1: Sammenheng mellom numerisk og verbal skala i AHP med forklaring (Saaty, 1980)

Numerisk	Verbal (Engelsk)	Forklaring
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Weakly more important	Experience and judgement slightly favour one activity
5	Strongly more important	Experience and judgement strongly favour one activity
7	Very strongly more important	An activity is favoured very strongly over another, it's dominance demonstrated in practice
9	Absolutely more important	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values	Used when compromise is needed

«Weakly» er senere skiftet ut med «moderate» og «absolute» er skiftet ut med «extremely» (Pöyhönen, Hämmäläinen, & Salo, 1997). I et norsk program kan det være hensiktsmessig med en norsk oversettelse av denne skalaen, som samtidig antyder graden av viktighet på en god måte. Et forslag til norsk oversettelse er presentert i tabell 2.

Tabell 2: AHPs verbale skala oversatt til norsk

Numerisk	Verbal (Engelsk)	Verbal (Norsk)
1	Equal importance	Lik viktighet
3	Moderate more important	Klart viktigere
5	Strongly more important	Mye viktigere
7	Very strongly more important	Veldig mye viktigere
9	Extremely more important	Ubetinget mye viktigere

Denne verbale skalaen er implementert i verktøyet.

### ***Vedlegg 3. Utdrag fra fordypningsprosjekt: Fremgangsmåten for AHP***

---

Metoden brukes ofte for å tydeliggjøre hvordan man skal angripe et problem eller et mål man ønsker å oppnå. Ved å dele opp problemet i relevante faktorer, som igjen eventuelt kan deles opp i underfaktorer i et hierarki, kan man ved hjelp av parvise sammenligninger av hver enkelt faktor evaluere et gitt problem. Når hierarkiet og prioriteringene er utarbeidet, kan man evaluere ulike alternative løsninger på problemet mot hverandre ved hjelp av modellen. I og med at beslutningstaker prioriterer et stort antall faktorer mot hverandre, vil usikkerheten i denne prioriteringen alltid ha betydning for resultatet. Metoden brukes derfor som oftest som en støtte til beslutninger, ved at man vurderer alle alternativene for løsning man har i modellen man har laget.

Videre presenteres en måte å bruke metoden på.

#### **Sette opp hierarki**

I første omgang må man altså definere formålet med modellen. Hva er det man ønsker å oppnå? Et enkelt eksempel kan være «Velge beste bil for familien». Deretter lister man opp forskjellige faktorer som har innvirkning på det endelige målet. Dette kan for eksempel være «kostnad», «sikkerhet» og «ytelse», men man kan ha så mange man vil, og disse kan også bestå av underfaktorer i et hierarki. I såfall har man flere nivåer av faktorer i hierarkiet.

#### **Sette opp alternativer**

I tillegg til å bestemme faktorer som beskriver hvordan man prioriterer, bestemmer man seg for hvilke alternativer man ønsker å vurdere ved hjelp av modellen. I dette eksempelet kan det være ulike bilmodeller som familien har sett seg ut som aktuelle. Disse modellene er de som skal vurderes ved hjelp av modellen.

#### **Sammenligning av faktorer**

Alle faktorerene må man så prioritere mot hverandre innad på samme nivå i hierarkiet. Har man underfaktorer i et hierarki skal disse bare prioriteres mot andre underfaktorer tilhørende under samme hovedfaktor. Beslutningstaker gjør den parvise sammenligningen enten numerisk, verbalt eller grafisk (ved hjelp av dataprogram). I den opprinnelige modellen utviklet av Saaty (Saaty, 1980) går den numeriske skalaen fra 1 – 9 med en tilhørende verbal skala, se tabell 1. Tallene beskriver hvor mange ganger viktigere en faktor er en annen. Det vil si at hvis forholdet mellom to faktorer er 3, er den ene faktoren tre ganger så viktig som den andre.

Tabell 1: Saaty's 1-9 skala

Numerisk	Verbal (Engelsk)
1	Equal importance
3	Moderate more important
5	Strongly more important
7	Very strongly more important
9	Extremely more important

Når beslutningstaker skal prioritere, er det viktig at denne forstår virkningene av valgene som gjøres, slik at man har best mulig måloppnåelse når det endelige resultatet foreligger.

Når faktorene er vektet mot hverandre får man en matrise med disse vektingene. Et eksempel på dette er vist i figur 1. Her er det faktorene «Kostnad», «Sikkerhet» og «Ytelse» som er prioritert mot hverandre.

	Kostnad	Sikkerhet	Ytelse
Kostnad	1	3	5
Sikkerhet	1/3	1	2
Ytelse	1/5	1/2	1

Figur 1: Eksempel på prioritering av faktorer etter Saaty's 1-9 skala

«Kostnad» vurdert mot «Kostnad» vil naturlig nok være lik 1, da det er den samme faktoren. I eksempelet er «Kostnad» samtidig vurdert som tre ganger så viktig som «Sikkerhet». Tilsvarende vil da, som figur 1 viser, «Sikkerhet» vurdert mot «Kostnad» være lik 1/3, da dette er inversverdien av 3.

## Eigenvektor

Når man har prioritert faktorene vil en gjerne samle resultatet av disse på en oversiktlig måte. Dette gjøres ved hjelp av eigenvektoren til hver faktor. Denne kan beregnes ut fra prioriteringene, og antyder hvilken av faktorene som er vurdert som viktigst.

Videre presenteres en forenklet måte å regne ut denne eigenvektoren.

1. Man summerer alle kolonnene som i figur 2.

	Kostnad	Sikkerhet	Ytelse
Kostnad	1	3	5
Sikkerhet	1/3	1	2
Ytelse	1/5	1/2	1
	1,53	4,5	8

Figur 2: Summering av kolonner for å finne eigenvektor

1. Man normaliserer matrisen ved å dele hvert enkelt element på totalsummen av den respektive kolonnen, slik figur 3 viser.

	Kostnad	Sikkerhet	Ytelse
Kostnad	0,654	0,667	0,625
Sikkerhet	0,218	0,222	0,250
Ytelse	0,131	0,111	0,125

Figur 3: Normalisering av matrisen for å finne eigenvektor

2. Man kalkulerer gjennomsnittet for hver rad i matrisen som i figur 4. Resultatet viser kriterienes prioriterte rangering, også kalt eigenvektor.

	Kostnad	Sikkerhet	Ytelse	Eigenvektor
Kostnad	0,654	0,667	0,625	0,65
Sikkerhet	0,218	0,222	0,250	0,23
Ytelse	0,131	0,111	0,125	0,12

Figur 4: Beregning av eigenvektor

Metoden er en forenklet variant som viser prinsippet for eigenvektor. I enkelte dataprogrammer er metoden mer omfattende, men resultatet vil være relativt likt denne metoden ved enkle beregninger.

### Inkonsistente sammenligninger

Har man mange faktorer, vil det alltid være en fare for at prioriteringene er inkonsistente, det vil si at de ikke stemmer overens med hverandre. Med det menes at hvis forholdet mellom A og B er 2, og B og C er 3, så bør forholdet mellom A og C være 6. Hvis dette ikke er tilfellet når man har prioritert, så har man vært inkonsistent, og man får en «consistency ratio» (CR) som er for høy. Denne sier noe om hvor konsistent man har vært i prioriteringen, og bør ikke overstige en gitt verdi. En viktig del ved bruk av AHP er derfor å sjekke om CR ikke er for høy. Den kan beregnes på følgende måte:

1. Man multipliserer først hver kolonne i figur 1 med respektive eigenvektoren i figur 4. Deretter summeres disse verdiene for å få en ny vektet sum. I eksempelet gir dette resultatet vist i figur 5.

	Kostnad	Sikkerhet	Ytelse	Ny vektet sum
Kostnad	0,65	0,69	0,6	1,94
Sikkerhet	0,216	0,23	0,24	0,69
Ytelse	0,13	0,115	0,12	0,37

Figur 5: Eigenvektor multiplisert med prioriteringer



1. Deretter divideres den nye vektete summen på egenvektoren:

$$\text{Kostnad: } \frac{1,94}{0,65} = 2,985$$

$$\text{Sikkerhet: } \frac{0,69}{0,23} = 3$$

$$\text{Ytelse: } \frac{0,37}{0,12} = 3,083$$

2. Man finner så gjennomsnittet av verdiene funnet i punkt 2:

I dette eksempelet blir snittet,  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{2,985 + 3 + 3,083}{3} = 3,022$$

3. Kalkulerer consistency index ( $CI$ ):

$$CI = \frac{\Delta - n}{n - 1} = \frac{3,022 - 3}{3 - 1} = 0,01$$

$n$  er antall faktorer i matrisen, i dette eksempelet vil  $n = 3$ .

4. Regner ut consistency ratio ( $CR$ ). Det er som oftest ønskelig å holde  $CR$  under 0,10.

$$CR = CI / RI$$

$RI$  er et tall avhengig av antall kriterier og er gitt av følgende tabell:

n	3	4	5	6	7	8
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

Ved  $n = 3$  får vi  $RI = 0,58$

Det gir consistency ratio,  $CR$ :

$$CR = \frac{0,01}{0,58} = 0,017$$

I dette eksempelet er vi godt innenfor denne grensen på 0,1 (10 %). I datamodeller vil man automatisk få beskjed dersom man har vært mer inkonsistent enn det som er akseptabelt. Man vil da være nødt til å gå gjennom sammenligningene på nytt.

## Vurdering av alternativer

Når man så er ferdig med den parvise sammenligningen av alle faktorene, i dette tilfellet «Kostnad», «Sikkerhet» og «Ytelse», må man vurdere de ulike alternativene ved hjelp av modellen. I denne sammenhengen vil alternativene være forskjellige typer biler som man synes er aktuelle. Hver aktuell bil blir da parvis sammenlignet med hver av de andre med hensyn til hver av de gitte faktorer, her «kostnad», «sikkerhet» og «ytelse», fortsatt med samme skala som tidligere ut fra hvor mye bedre den ene er den andre. Slik vil hvert alternativ få en kalkulert verdi.

## Løsning

Ut fra denne sammenligningsprosessen vil man da få en score på hver enkelt alternativ. Denne er basert på den kalkulerte verdi for hvert alternativ i forhold til hver faktor samt på hvor stor viktighet hver faktor er vurdert til. Produktet av disse to verdiene gir alternativenes score.

Det alternativet med høyest score er da det alternativet som er best, gitt at prioriteringene er riktige, og sammenligningene mellom faktorer og alternativer er konsistente. Om det er liten forskjell mellom flere alternativer, må man vurdere hvor mye vekt man skal tillegge modellen, men dersom et alternativ er klart bedre enn andre, bør modellen absolutt tas med i betraktningen når den endelige beslutningen skal tas.

## **Faktorer som styrer valg av løsning**

I denne oppgaven skal AHP brukes som grunnlag for utforme en modell som kan brukes når en byggherre har planlagt nybygg eller et større prosjekt av ulikt slag, og ønsker å ta med i betraktningen mer enn bare økonomisk gevinst og minimumskrav.

Det er opp til byggherre hva som skal prioriteres, og det finnes flere typer byggherrer som vil ha ulike prioriteringer: Om man skal sette opp et næringsbygg, vil en statlig byggherre for eksempel ofte prioritere lave driftsutgifter og nytteverdi, mens for en privat byggherre kan for eksempel estetikk være viktigere. Om byggherre skal bruke bygget selv etter at det er ferdigstilt vil også ha betydning for prioriteringene. Ofte har prosjekter som senere skal selges eller leies ut kun kortsiktig økonomisk lønnsomhet som mål. Motsatt kan selskaper som ønsker å fremstå med en miljøprofil, prioritere miljø og lavt energiforbruk, og profilere dette tydelig i media, slik at det skal virke velgjørende for eier i det lange løp. For en statlig eier vil det igjen være helt andre prioriteringer som er gjeldende. Fellesnevneren for de fleste prosjekter vil alltid være økonomi i mer eller mindre grad.

Dette kapittelet er en gjennomgang av de faktorer som en byggherre bør ta hensyn til når han eller hun skal vurdere ulike tilbud. Faktorene er i utgangspunktet gitt i det eksisterende programmet, men vil bli gjennomgått med tanke på relevans og viktighet (Eta Energi AS, 2008). Det vil være mange faktorer som styrer valg av løsning, og det er derfor hensiktsmessig å samle faktorene under relevante hovedfaktorer, for å få en bedre oversikt. Hovedfaktorene i det eksisterende verktøyet er «Økonomi», «Miljø og etikk» og «Sikkerhet og lav risiko». Disse vil bli beholdt i dette prosjektet.

### **Hovedprioritering 1: Økonomi**

Hovedprioriteringen i et byggeprosjekt vil alltid være av økonomisk karakter. De fleste private prosjekter krever økonomisk gevinst innen rimelig tid for å bli gjennomført. Unntaket er selvfølgelig om man har andre hensyn som er viktigere enn selve lønnsomheten, men også her vil økonomi spille en rolle. Eksempler på slike prosjekter kan være pilotanlegg som benytter en ny teknologi eller prosjekter som har stor nytteverdi for samfunnet.

I denne biten presenteres de viktigste underfaktorene av økonomi som styrer valg av løsning. Når flere tilbud vurderes mot hverandre, vurderes de mot hverandre i forhold til hver av underfaktorene,

ved at man benytter den numeriske skalaen for å vurdere hvor mye den ene er bedre enn den andre med hensyn på hver enkeltfaktor.

- **Investeringskostnader:** Med investeringskostnader menes alle kostnader til oppføring av bygget. Utgifter til prosjektering, administrering, drifting, rigging, material, utstyr, utførelse, tomt og finanseringskostnader hører til investeringskostnader (Standard Norge, 1987).
- **Driftskostnader:** Driftskostnader er kostnader til drift av bygget når det står ferdig. Dette er kostnader til energi, vann og avløp, renhold, avfallshåndtering, vakt og sikring og utendørsarbeid som snømåking, strøing og lignende (Standard Norge, 2000).
- **Vedlikeholdskostnader:** Vedlikeholdskostnader knytter seg opp mot kostnader til vedlikehold som maling, utskifting av for eksempel lyskilder og materialer samt planlagt vedlikehold innen- og utendørs (Standard Norge, 2000).
- **Forvaltningskostnader:** Forvaltningskostnader omfatter administrasjonskostnader, skatter, avgifter og forsikringer for bygget. Administrasjonskostnader er utgifter til lønn av ansatte, forretningsførsel, internkontroll og lignende (Standard Norge, 2000).
- **Utviklingskostnader:** Utviklingskostnader er utgifter til endring av lokaler på grunn av endrede behov, utbedringer på grunn av offentlige pålegg og oppgradering som må gjøres grunnet manglende funksjon eller tilfredsstillende formelle krav som er kommet etter oppføringen. Utviklingskostnader er ikke en egen post i verktøyet, men er inngår flere andre poster, blant annet «Offentlig pålegg» og postene «generalitet», «elastitet» og «fleksibilitet» (Standard Norge, 2000).
- **Nytt forretningsområde:** Dekker byggeprosjektet et nytt forretningsområde, kan det være knyttet inntekter til dette. Dette hører i såfall under denne posten.
- **Økt konkurransekraft:** Vil prosjektet medføre økt konkurransekraft tas dette hensyn til i denne posten.
- **Økt sluttbrukerverdi:** Vil prosjektet gi økt sluttbrukerverdi må dette tas hensyn til. Er det for eksempel lagt til rette for et godt innemiljø i et bygg, vil dette gi en økonomisk gevinst i form av økt produktivitet og lavere sykefravær for de ansatte. Dette vil brukere av bygget sette pris på, og man kan oppnå bedre leieinntekter ved utleie eller bedre lønnsomhet for egen bedrift hvis man tar i bruk bygget selv.
- **Generalitet:** Med generalitet menes hvorvidt lokalene er egnet til annen type bruk, f.eks. endring fra kontorer til boliger. Det som styrer dette er etasjehøyden, lastkapasitet, modularitet (muligheter for åpne rom eller avdelinger). I tillegg har riktig bygningsdybde betydning for alternative innredningsløsninger, teknisk grid og dimensjonering av teknisk infrastruktur og

føringsveier har betydning for hvilken type bruk som egner seg (Valen & Bjørberg, 2006). Er valgte løsning god på generalitet er det i dette punktet man tar hensyn til det.

- **Fleksibilitet:** Med fleksibilitet mener man i hvilken grad bygget kan endre f.eks. planløsning innen samme funksjon. Dette er styrt av valg av innerveggløsninger uten bindinger mot vegg og tak i hvilken grad man har lagt tekniske føringer i lettveggene (Valen & Bjørberg, 2006). Er valgte løsning god på fleksibilitet er det i dette punktet man tar hensyn til det.
- **Elastitet:** Elastisitet defineres som mulighet til å endre volum (øke eller redusere areal). I praksis sikres behovet for mer areal ved at det er mulighet for nybygg, tilbygg eller påbygg. For nybygg og tilbygg påvirkes elastisiteten av tilgjengelig tomt og hensiktsmessige ankomstforhold, parkeringsmuligheter med mer. Når det gjelder påbygg har det betydning hvorvidt bæresystem og lastkapasiteter er tilrettelagt for flere etasjer. I elastisitetsbegrepet ligger også mulighet for å redusere areal, dvs. f.eks å skille ut separate enheter som kan benyttes til andre formål/andre brukere (Valen & Bjørberg, 2006). Er valgte løsning god på elastitet er det i dette punktet man tar hensyn til det.

## **Hovedprioritering 2: Miljø og etikk**

Foruten underfaktorene av økonomisk betydning er det også en rekke andre faktorer som bør tas hensyn til. Mange av disse faktorene er av en miljømessig karakter, og det er liten tvil om at det må stilles større krav til miljø når nye byggeprosjekter skal realiseres. Dessuten vil byggeprosjekter ofte påvirke nærmiljøet i stor grad, og det er for eksempel viktig at man spiller på lag med de lokale kreftene. I beslutningsverktøyet vil generalitet, fleksibilitet og elastitet også bli tatt hensyn til under hovedprioritering 2.

- **Støtte fra lokalbefolkning:** Har prosjektet støtte i lokalbefolkningen eller møter det motstand? Et prosjekt med støtte i lokalbefolkningen har større sjanser for å bli realisert enn et prosjekt som møter motstand. For utbygger handler dette i det lange løp også om omdømme. Et upopulært prosjekt som likevel gjennomføres vil medføre omdømmeproblemer for de involverte.
- **Samarbeidsprosjekt:** Er prosjektet et samarbeidsprosjekt som kan gi positive effekter senere? Samarbeid med viktige lokale eller nasjonale aktører kan gi muligheter for tilsvarende samarbeid senere. Samarbeid med lokale foretak eller kommuner viser samfunnsansvar og øker sjansen for at prosjektet blir realisert.
- **Synergi-effekter:** Gir prosjektet positive ringvirkninger eller effekter utover det det var ment for, vil dette ha en positiv effekt på om prosjektet blir realisert eller ikke. Dette er også en faktor som kan øke sjansen for at prosjektet blir realisert.

- Ressursbruk (lokale ressurser): Vil prosjektet medføre lavere ressursbruk ved å benytte lokale ressurser? Å benytte seg av produkter produsert i nærområdet sparer miljøet for unødvendig lang transportvei, samt støtter opp om lokalt næringsliv.
- Miljøvennlige materialer og prosesser: Har man fokus på miljø i materialvalg og byggeprosess? Bruk av miljøvennlige materialer vil ha en positiv effekt på miljøet på lang sikt, samt på innemiljøet for de som senere skal benytte bygget. Er fremstillingsprosessen for materialene miljøvennlige? Har de en holdbarhet som ikke krever at de må skiftes ut?
- Miljøvennlig løsning/teknologi: Er løsningen som er valgt mer miljøvennlig enn andre? Skal man bygge etter minimumskravene, eller kan man tillate seg å ligge foran disse?
- Reduserte utslipp: Vil prosjektet føre til reduserte utslipp sammenlignet med tilsvarende prosjekter?

### **Hovedprioritering 3: Sikkerhet og risiko**

Alle prosjekter er forbundet med risiko, og det handler alltid om å kontrollere denne i størst mulig grad, og i tillegg minimere den risiko man ikke kan kontrollere. Videre følger de momenter som bør tas hensyn til i denne sammenheng.

- Offentlige pålegg: I fremtiden kan det hende at endrede lover eller nye forskrifter kan påtvinge ekstrakostnader på bygget, enten i form av at det må endres på, eller at det må betales avgifter fra utslipp. Slike faktorer må tas hensyn til i nye byggeprosjekter. Det kan være vanskelig å spå i fremtiden, men å vurdere den politiske prosessen i forhold til nye krav gjennom for eksempel Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK) vil være aktuelt. Vil prosjektet være rustet mot slike pålegg i form av fremtidsrettede løsninger, vil dette telle positivt, og vurderes i denne posten.
- Endringer i energipriser: Hvordan vil energiprisene utvikle seg i fremtiden? I et næringsbygg må prosjektets energibærere bør vurderes nøye, da valg av løsning på dette området kan være dyrt å endre i fremtiden. En ensidig satsing på for eksempel elektrisitet vil kunne straffe seg i fremtiden. Er det fjernvarme tilgjengelig i nærheten, eller finnes det muligheter for varmepumper? Handler prosjektet om utbygging av energi, vil energiprisen ha enda større betydning.
- Sikker leveringstid: Og vil valgte løsning kunne gjennomføres innenfor de fastsatte tidsrammer? En entreprenør med gode referanser vil for eksempel være å foretrekke foran en uten.

- Sikker produksjon: Vil valgte løsning gi sikker produksjon? Er det lagt opp til gode rutiner rundt helse, miljø og sikkerhet? Å gjennomføre et prosjekt uten arbeidsuhell vil være positivt på alle måter, og bør vektlegges.