

No 139 – 2021

NOTE

# TEKNOLOGIER FOR BRUKSTAK

*Vurdering av kostnader, risiko og  
klimagassutslipp*

Erlend Andenæs



**KLIMA  
2050**



# KLIMA 2050

Klima 2050 Note No 139

Erlend Andenæs, NTNU

Teknologier for brukstak. Vurdering av kostnader, risiko og klimagassutslipp

Keywords: Brukstak, Risikovurdering, Blågrønt tak, Solcelletak og Takhage

Publisher: SINTEF Academic Press

SINTEF Community, Høgskoleringen 7 b, POBox 4760 Torgarden, N-7465 Trondheim

Research Council of Norway Project no.: 237859 / SINTEF Project no.: 102009978

Status: Restricted

[www.klima2050.no](http://www.klima2050.no)



**KLIMA**  
**2050**

# **Teknologier for brukstak**

## **Vurdering av kostnader, risiko og klimagassutslipp**

## Sammendrag

---

Denne rapporten bygger på prøveforelesningen ved disputasen til Erlend Andenæs. Tema på prøveforelesningen var bestemt av bedømmelseskomiteen: «How to undertake a risk assessment of different roof technological solutions – Choices amongst risk, cost and GHG reductions.» Dette ble tolket til å beskrive en systematisk vurdering av risiko og usikkerhetsmomenter knyttet til forskjellige bruksområder for en takflate. Fire taktyper er sammenlignet: Konvensjonelle «sorte» tak som kun fungerer som klimaskall, tak med solceller og varmepumpe til energiproduksjon, blågrønt tak til overvannshåndtering og park på taket. Hvilket tak som bør velges avhenger av flere forhold spesifikt til det enkelte prosjekt. Problemstillinger er illustrert med utgangspunkt i Klima 2050 pilotprosjektet *Ombygging til blågrønne tak på R5*.

*Klima 2050 – Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø* er et senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) finansiert av Norges forskningsråd og partnerne i konsortiet. SFI-statusen muliggjør langsiktig forskning i nært samarbeid med privat og offentlig sektor, samt med andre forskningspartnere som har som mål å styrke Norges innovasjons- og konkurranseevne innen klimatilpasning. Sammensetningen av konsortiet er viktig for å kunne redusere samfunnsrisikoen forbundet med klimaendringer.

Senteret vil styrke bedriftenes innovasjonskapasitet gjennom fokus på langsiktig forskning. Det er også et klart mål å legge til rette for tett samarbeid mellom FoU-aktive bedrifter og fremtredende forskningsgrupper. Det blir lagt vekt på utvikling av fuktbestandige bygninger, overvannshåndtering, blågrønne løsninger, tiltak for forebygging av vannutløste skred, sosioøkonomiske insentiver og beslutningsprosesser. Både ekstremvær og gradvise endringer i klimaet blir omhandlet.

Vertsinstitusjonen for SFI Klima 2050 er SINTEF Community, og senteret ledes i samarbeid med NTNU. De andre forskningspartnerne er Handelshøyskolen BI, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Meteorologisk institutt.

Industripartnerne representerer viktige deler av norsk byggenæring; rådgivere, entreprenører og produsenter av byggevarer og teknologi: Skanska Norge, Multiconsult AS, Mesterhus, Norgeshus AS, Leca Norge AS, Isola AS og Skjæveland Gruppen AS. Senteret inkluderer også viktige offentlige byggherrer og eiendomsutviklere: Statsbygg, Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet og Avinor AS. Sentrale aktører er også Trondheim kommune, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Finans Norge.

Trondheim, 22. desember, 2021

Berit Time  
Senterleder  
SINTEF

## Innhold

---

<b>SAMMENDRAG .....</b>	<b>4</b>
<b>INNHold .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUKSJON.....</b>	<b>6</b>
1.1 DEFINISJONER AV OMFANG OG BEGREPER .....	6
1.1.1 Tema.....	6
1.1.2 Risiko .....	6
1.1.3 Risikovurdering.....	6
1.2 TILFELLER DER SLIKE VURDERINGER VIL VÆRE AKTUELLE .....	7
<b>2 TEKNOLOGIER FOR BRUKSTAK .....</b>	<b>8</b>
2.1 KONVENsjONELT, TOMT TAK.....	8
2.2 TAK FOR ENERGIPRODUKSJON: SOLCELLER OG VARMEPUMPE .....	9
2.3 BLÅGRØNT TAK .....	11
2.4 TAKHAGE MED PARK .....	13
2.5 KOMBINASJON AV TEKNOLOGIER .....	15
<b>3 SAMMENLIGNING AV TEKNOLOGIER .....</b>	<b>18</b>
3.1 INVESTERINGSKOSTNAD .....	18
3.2 LEVETIDSKOSTNADER .....	18
3.3 KLIMAGASSUTSLIPP.....	19
3.4 NØDVENDIG SEKUNDÆRE TILTAK.....	19
3.5 KVALITETSRISIKO.....	20
3.6 OPPSUMMERING AV KRITERIENE.....	21
<b>4 VIDERE STEG FOR ANALYSE.....</b>	<b>22</b>
4.1 ENKEL VEKTING .....	22
4.2 SWOT-ANALYSE.....	22
4.3 CHOOSING BY ADVANTAGE (CBA).....	22
<b>5 KONKLUSJON .....</b>	<b>24</b>
<b>6 KILDER .....</b>	<b>25</b>

# 1 Introduksjon

---

## 1.1 Definisjoner av omfang og begreper

### 1.1.1 Tema

Temaet «How to undertake a risk assessment of different roof technological solutions – Choices amongst risk, cost and GHG reductions» ble gitt til prøveforelesning for doktorgraden “Risk assessment of blue-green roofs” av Erlend Andenæs. Tittelen ble derfor tolket å omhandle en vurdering av hvorvidt et tak bør bygges (eventuelt ombygges) som et blågrønt tak eller bygges til et annet bruksområde, og hvilke faktorer som bør spille inn i avgjørelsen.

Begrepet «roof technologies» er tolket å omfatte forskjellige bruksområder for takflaten, og ikke materialteknologiske løsninger som f.eks bruk av adaptiv dampspærre eller vakuumisolasjon. Tre typer brukstak ble vurdert i tillegg til et konvensjonelt tak som blir brukt som et utgangspunkt. De tre typene er: Konvensjonelt tak med solceller og varmepumper til energiproduksjon, semi-intensivt blågrønt tak til overvannshåndtering og intensivt grønt tak som danner park på taket. Kombinasjoner av de forskjellige løsningene blir også drøftet.

Temaet forutsetter at det som utgangspunkt bygges en kompakt, flat takkonstruksjon. Denne typen tak gir et godt utgangspunkt for alle de ulike brukstakene, i motsetning til skrå og/eller luftede takkonstruksjoner, der takets form gjør det lite egnet for en eller flere av brukstakene.

### 1.1.2 Risiko

Det brukes mange definisjoner for begrepet risiko. ISO 31000:2018 (ISO, 2018) definerer risiko som «effekten av usikkerhet på prosjektmål». Project Management Institute (PMBOK 2013) definerer begrepet som «en hendelse som, dersom den oppstår, har en positiv eller negativ innvirkning på prosjektets utfall». NTNU-professor Marvin Rausand (2013) bruker den mer praktiske definisjonen «Risiko er svaret på følgende tre spørsmål: 1) Hva kan gå galt? 2) Hva er sannsynligheten for at dette går galt? 3) Hva er konsekvensene?» (alle sitat i dette avsnittet er oversatt fra engelsk).

I tillegg foregår det en viss debatt i prosjektstyringsmiljøene om bruken av begrepene «risiko» og «usikkerhet». Det siste foretrekkes fordi det også omfatter *positive* utfall av usikre forhold. Begrepet «risiko» blir da et eget begrep under denne paraplyen som kun omfatter usikkerheten for negative utfall. For positive utfall brukes ordet «muligheter» (engelsk: «opportunities»). Dessverre er begrepet «usikkerhet» like vanskelig å definere presist som risikobegrepet er. I sin doktoravhandling samlet Agnar Johansen en tabell på ni sider med forskjellige definisjoner på usikkerhet og risiko (Johansen 2015).

Felles for alle definisjonene er en kombinasjon av sannsynligheten for at ulike utfall kan oppstå, og konsekvensene dersom de gjør det. Denne rapporten vil ikke skille mellom risiko og usikkerhet, men følger Rausand sin definisjon av begrepet.

### 1.1.3 Risikovurdering

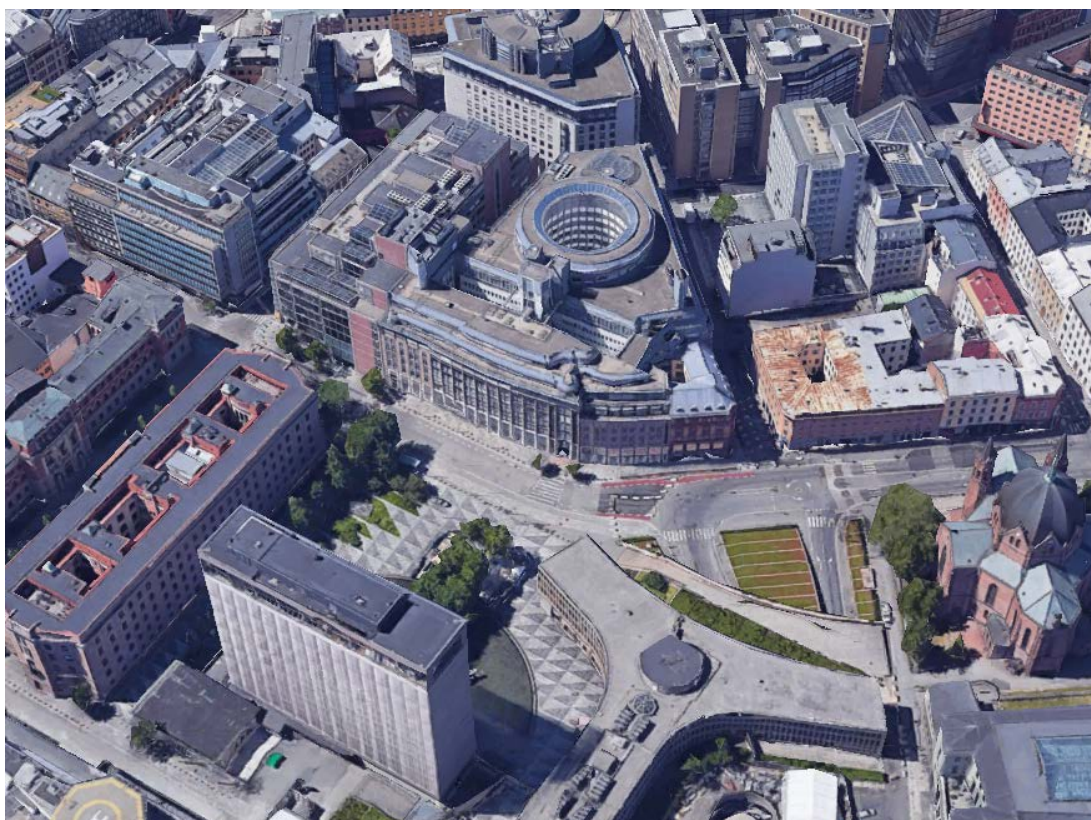
Rausand (2013) definerer risikovurdering som «den overordnede prosessen av risikoanalyse og risikobedømmelse». Risikoanalyse handler om «en systematisk bruk av tilgjengelig informasjon for å identifisere faremomenter og evaluere risiko». Risikobedømmelse er «bedømmelse av hvilken risiko som kan tolereres» (alle begreper og definisjoner oversatt fra engelsk).

Samlet sett kan dermed oppgavens tittel tolkes som «Hvordan utføre en systematisk bruk av tilgjengelig informasjon for å identifisere faremomenter og evaluere en akseptabel grad av usikre utfall for forskjellige bruksområder for en takflate.»

## 1.2 Tilfeller der slike vurderinger vil være aktuelle

Problemstillingen til rapporten kan illustreres gjennom et praktisk eksempel; *Ombygging til blågrønne tak på R5* i Regjeringskvartalet i Oslo er pilotprosjekt i Klima 2050 på konseptuelt nivå. Figur 1 viser hvordan bygning R5 ligger i et tettbebygget byområde med mange forskjellige utfordringer som ikke kan løses på bakkeplan:

- Det er lite tilgjengelig utendørs areal for rekreasjon i området.
- Mange tette flater gjør overvannshåndtering utfordrende. Oslo kommune setter også grenser for hvor mye overvann som tomten kan slippe på overvannsrørene.
- Oslo er tidvis preget av høye strømpriser.
- Området har lite vegetasjon og er en «asfaltørken» for dyre- og planteliv.



**Figur 1: Regjeringskvartalet i Oslo sett fra øst, bildedato cirka 2019. Bygning R5 er midt i bildet, med det sirkelrunde atriet. Skjermdump fra Google Earth (Google, 2021).**

Takflaten kan benyttes for å møte en eller flere av disse utfordringene gjennom ulike teknologier for brukstak. Derimot vil flere av disse teknologiene konkurrere om plass, budsjett og prioriteringer i prosjektet. For hvert enkelt prosjekt er det derfor nødvendig å gjøre et valg over hvilken teknologi som bør benyttes. De neste kapitlene beskriver fire forskjellige alternativer og metoder som kan brukes for å veie dem opp mot hverandre.



## 2 Teknologier for brukstak

---

Det finnes mange forskjellige teknologier for tak og brukstak. De fire typene som presenteres her er antatt å være representative for de fleste realistiske alternativer. For eksempel vil ikke et idrettsanlegg eller en restaurant på taket være teknologisk forskjellig fra en park, og et tak med vindturbiner vil stille likt i disse vurderingene som et tak med solceller. Rapporten går ikke i dybden på hvilke oppbygninger av takkonstruksjonen som brukes i de forskjellige brukstakene, da dette kan variere fra tilfelle til tilfelle.

### 2.1 Konvensjonelt, tomt tak

Denne taktypen kalles i noen tilfeller et «svart tak». Her brukes taket kun som byggets klimaskall, og har ingen funksjonell rolle annet enn å gi adgang til teknisk utstyr. Et eksempel på et slikt tak er illustrert i figur 2.



**Figur 2: Bygg med konvensjonelt, flatt tak**

Selv på tak som ikke har funksjon som brukstak vil det som regel være montert noe teknisk utstyr og adkomstvei for å vedlikeholde dette. Taket som er illustrert i figur 2, har tekniske hus for ventilasjonsinntak og -avkast, heismaskineri, telekomutstyr og logo/reklameskilt. I tillegg er det nødvendig å ha adgang for å vedlikeholde slukene på taket, som ellers kan bli tettet av løv, rusk eller etterlatenskaper fra fugler.

Konvensjonelle tak er «standard løsning» for de fleste store bygg med flatt tak. Det er en kjent løsning for entreprenører og håndverkere, med færrest mulig risikomomenter i



prosjektering og utførelse. Utformingen er relativt ukomplisert, noe som gjør løsningen enkelt og billig å bygge sammenlignet med alternativene. Konstruksjonen veier også lite og er lett å vedlikeholde.

Den største ulempen med et konvensjonelt tak er at nytteverdien er begrenset. Taket brukes ikke til å møte noen av utfordringene bygget møter. Solen skinner og varmer opp taket til ingen nytte, regnvann renner rett av uten forsinkelse eller fordrøyelse, og takflaten ligger tom og uvirksom i et område som kan ha skyhøye kvadratmeterpriser. Det kan virke bortkastet å ikke benytte taket dersom utfordringene ikke kan møtes på bakkeplan.

De fleste typer brukstak vil bygges som et konvensjonelt tak i byggefasen, og får deretter «ekstrautstyr» påmontert. Konvensjonelle tak gir dermed et godt utgangspunkt for sammenligninger av ulike teknologier.

Figur 3 viser et eksempel på et tomt konvensjonelt tak i virkeligheten. Taket befinner seg på NTNUs campus Gløshaugen i Trondheim.



**Figur 3: Konvensjonelt tak på Høgskoleringen 7A Byggeteknikk ved NTNU i Trondheim. Foto: Erlend Andenæs.**

## 2.2 Tak for energiproduksjon: solceller og varmepumpe

Lokal energiproduksjon har blitt et populært tiltak for å bøte på bygningers klimagassutslipp og sikre strømforsyning til egen tomt. Solceller er den rådende teknologien for å generere elektrisitet på tak, da de ikke har bevegelige deler som må vedlikeholdes og som skaper vibrasjoner. Termiske solfangere og varmepumper benyttes til å generere varme direkte, der det er større behov for varme enn elektrisitet.

Et tak for energiproduksjon er vist i figur 4. Taket tar utgangspunkt i et konvensjonelt tak og er identisk med det vist i figur 2, med et solcelleanlegg og en varmepumpe montert. Solcellene er vendt mot sør og satt opp med en viss avstand for å hindre at de skygger for hverandre, og løftet litt opp fra takets overflate for å hindre ansamling av snø på panelene. Varmepumpen er montert på egen betongsåle for å beskytte mot vibrasjoner.



**Figur 4: Tak for energiproduksjon**

Lokal energiproduksjon har både en økonomisk og miljømessig dimensjon, som begge har klare likhetstrekk. Å produsere og sette opp anlegget koster penger og medfører CO<sub>2</sub>-utslipp, men deretter produseres energi nærmest gratis – minus små utgifter til drift og vedlikehold. Anleggets levetidskostnader og -utslipp vil fordeles på antall kWt det produseres. Prisen per kWt vil i gjennomsnitt bli lavere enn for en kWt hentet fra strømmettet, både i betydningen penger og utslipp. Anleggets pris og utslipp vil derfor bli negative, sammenlignet med å hente energi fra strømmettet. Med tilstrekkelig stor energiproduksjon vil det dermed være mulig i prinsippet å gjøre bygget CO<sub>2</sub>-nøytralt, noe som er prinsippet bak Zero Emission Building (ZEB)-konseptet (Hestnes og Eik-Nes, 2017).

Med norske strømpriser har det vært omdiskutert hvorvidt et solcelleanlegg kan bli økonomisk lønnsomt over sin levetid. Strømproduksjonen er størst på dagtid om sommeren, når strømmen fra nettet er billigst. Med bredere integrasjon med det europeiske strømmettet kan denne situasjonen endre seg noe, men usikkerheten er fremdeles stor.

En utfordring med solceller er at elektriske ledninger må ledes inn i bygningen uten å lede inn fuktighet. Det må også settes av plass i bygningen til et teknisk rom for solcellene. Solcelleanlegg har også vist seg å gjøre brannslukning mer komplisert.

Figur 5 viser et solcelleanlegg på et tak i Asker.



**Figur 5: Solceller på taket av Holmen svømmehall i Asker. Foto: Erlend Andenæs.**

### 2.3 Blågrønt tak

Blågrønne tak er tak der levende planter, deres vekstmedium og eventuelt dypere lag brukes for å lagre regnvann, som del av en strategi for å håndtere overvann (Andenæs 2021). I trange byområder som stort sett består av tette flater er overvannshåndtering nødvendig for å hindre oversvømmelse ved kraftige regnskyll. Tradisjonelt har dette blitt løst ved overvannsrør lagt i bakken, men på grunn av klimaendringene har det blitt stadig vanligere med kraftige regnskyll som gir mer vann enn rørene klarer å ta unna. Å skifte ut alle overvannsrør ville vært for kostbart å gjennomføre på kort sikt, så det er nødvendig med løsninger som håndterer overvann på egen tomt. Slike løsninger kan inkludere åpne vannspeil eller nedgravde magasiner, men på trange bytomter vil det være for lite plass til løsninger på eller under bakkenivå. I stedet kan takarealer tas i bruk.

Et blågrønt tak vil fungere som en «svamp» som fylles med vann når det regner, og gradvis tappes over lang tid etterpå. Dette gir en forsinket avrenningstopp sammenlignet med en hard flate. Avrenningen strekkes også ut over lengre tid, noe som gir mindre avrenning per sekund. En del av vannet vil aldri renne av taket, men i stedet fordampe ut i luften. De fleste typer grønne tak vil gi en brukbart stor effekt som et blågrønt tiltak. Dermed kan blågrønne tak utformes på mange forskjellige måter, fra et lett sedumdekke til en tung takhage. Et typisk blågrønt tak har en tykkelse på 10-15 cm, noe som gir mer vannlagringskapasitet enn sedum uten å være for tungt eller vanskelig å vedlikeholde. figur 6 viser et blågrønt tak bygget utelukkende for overvannshåndtering, uten å være tilgjengelig for publikum. Randsoner langs parapeter og rundt tekniske hus er dekket med grus i stedet for planter, for å hindre gjengroing av nødoverløp og for å holde planterøtter borte fra taktekningens oppbretter.





**Figur 6: Blågrønt tak for overvannshåndtering, som ikke er tilgjengelig for trafikk**

Det største risikomomentet med blågrønne tak er at taktekningen begraves i taket og dermed er utilgjengelig for inspeksjon og reparasjon. En skade blir vanskelig å oppdage før den har vokst seg stor nok til å gi synlige defekter på innsiden av taket. *Konsekvensen* av byggskader kan dermed regnes som større i blågrønne tak enn for konvensjonelle tak. Derimot er *sannsynligheten* for byggskader ikke nødvendigvis høyere. Taktekningen ligger beskyttet fra UV-stråling fra solskinn og raske temperatursvingninger, og mekanisk påkjenninger fra trafikk, vær og vind vil slite på plantene heller enn taktekningen.

Figur 7 viser et blågrønt tak på Vega Scene i Oslo. Taket har en gangbane for vedlikehold, men er ikke tilgjengelig for publikum.



**Figur 7: Blågrønt tak på Vega Scene i Hausmannsgate 28 i Oslo. Dronefoto: Asplan Viak.**

## **2.4 Takhage med park**

Med tilstrekkelig stor bærekapasitet i konstruksjonen er det mulig å legge til rette for omfattende landskapsarkitektur på taket og skape et uterom. Slike tak kan inneholde gangbaner med belegningsstein, flater med gressplen, lekeapparater og større beplantning som busker og trær. Figur 8 viser et tak med park på taket, der det er montert benker, belysning, lekeapparater, beplantning og en liten kiosk.



**Figur 8: Park på tak, med takhage, gangbaner og lekeapparater**

Det vanligste bruksområdet for slike tak er å ha et uterom i form av en park, men det er også mulig å bygge idrettsanlegg, spisesteder, kjøkkenhage, skolegård, barnehage eller andre bruksområder på taket. Teknisk er de ikke spesielt forskjellige. Felles for dem er konstruksjoner med stor vekt og høy kompleksitet som involverer mange fag i både planlegging og utførelse. Det legges opp til at publikum skal ha adgang til taket, noe som krever sikringstiltak som rekkverk og rømningsveier. Tekniske installasjoner på taket må sikres mot publikum og omvendt. Belysning kan være aktuelt, med tilhørende teknisk opplegg. Gangbaner, plenfelt og plantekasser vil kreve ulik fundamentering og mange komplekse detaljløsninger. Av disse grunner er denne taktypen vanligvis lite egnet for ombyggingsprosjekter. Driften av taket krever også omfattende innsats, med rengjøring, skjøtsel av beplantning og annet vedlikehold.

På mange måter er parkanlegg på taket et «premium»-alternativ. Det medfører store kostnader og usikkerheter, men gir en utnyttelse av taket som andre alternativer ikke kan måle seg med. I tillegg vil plantefelt ha en viss blågrønn funksjon

Figur 9 viser taket på Økern Portal i Oslo. Her er det anlagt et parkanlegg med løpebane og sosiale soner.





**Figur 9: Takhage med løpebane og parkanlegg på Økern Portal i Oslo. Fotorettigheter: Oslo Pensjonsforsikring.**

## **2.5 Kombinasjon av teknologier**

Det er mulig å benytte ulike deler av takflaten til forskjellige formål. Dette gir en kombinasjon av fordeler. Enkelte av teknologiene lar seg også kombinere i forskjellige lag, som for eksempel å bygge en plen som et blågrønt tak, eller å installere solceller oppå et blågrønt tak. Figur 10 viser et tak som både inneholder et blågrønt felt, en park, solceller og varmepumpe.





**Figur 10: Tak som kombinerer flere teknologier: Blågrønt tak til venstre, park i midten og energiproduksjon til høyre. Solceller er også plassert oppå det blågrønne taket for å illustrere at flere teknologier kan kombineres på samme areal.**

En kombinasjon av teknologier kan ha potensiale til å besvare flere utfordringer. Blant annet kan taket både håndtere overvann og produsere energi ved å bruke en del av takflaten til solceller og en annen til overvannshåndtering. Derimot vil takets potensiale til å løse utfordringer bli tilsvarende stykket opp. Denne løsningen vil produsere mindre strøm enn en løsning der hele taket brukes til solceller, og håndtere mindre overvann enn hvis hele taket hadde vært blågrønt. Dette kan gjøre det nødvendig å håndtere overvann på annen måte, samtidig som det ikke oppnås en like stor reduksjon i strømutfordringene. Gode vurderinger og planlegging er viktig for å sørge for at taket løser den oppgaven det blir bygget for å løse, heller enn å løse flere oppgaver halvveis.

En lignende oppdeling av potensialet skjer dersom flere teknologier kombineres på samme takflate. For eksempel kan ikke et grønt tak dekkes fullstendig med solceller, fordi plantene også trenger lys for å overleve. Planter som står under solceller vil heller ikke lagre like mye vann på sin overflate som planter som står fritt. Det må altså godtas en liten reduksjon i strømproduksjon og i evnen til å håndtere overvann, sammenlignet med dedikerte takflater. Tilsvarende vil et blågrønt tak som er åpent for publikum, måtte velge planter som tåler trafikk, og som ikke nødvendigvis er like godt egnet til å håndtere overvann som spesialiserte planter vil være.

Selv om takets potensiale blir splittet opp når teknologier kombineres, vil ikke det samme skje med kompleksitet og risiko. Et tak med 50/50 solceller og blågrønne planter vil måtte håndtere 100% av utfordringene med solceller, og 100% av utfordringene med blågrønne

tak. Alle relevante fagfelt må involveres når en teknologi tas i bruk, selv om den kun benyttes på deler av taket. Dette gjør at tak som kombinerer teknologier har en tendens til å bli svært kompliserte prosjekter.

### 3 Sammenligning av teknologier

For å kunne vurdere hvilken teknologi som egner seg best i et prosjekt er det nødvendig å gjøre en systematisk sammenligning av deres fordeler og ulemper. En metode er å sette opp forskjellige kriterier/kategorier og vurdere hvordan de ulike teknologiene presterer i hver kategori.

I denne rapporten vil en slik vurdering bare kunne gjøres halvveis. For å foreta en slik vurdering i virkeligheten er det nødvendig å vurdere teknologienes fortrinn og ulemper opp mot muligheter og krav i det enkelte prosjektet. Derfor er det umulig å konkludere på generelt grunnlag hvordan et brukstak bør se ut. Blant annet er det ikke mulig å si om taket bør ha solceller uten å vite noe om solforholdene der det skal bygges.

Denne rapporten vil bruke fem kriterier for å sammenligne de ulike teknologiene: Investeringskostnad, levetidskostnader, klimagassutslipp/bundet karbon, nødvendig sekundære tiltak og kvalitetsrisiko (risiko for byggskader). I de fleste av tilfellene vil det konvensjonelle taket fungere som et utgangspunkt eller grunnlinje, fordi de andre teknologiene (forenklet sett) bruker et konvensjonelt tak som et underlag.

#### 3.1 Investeringskostnad

Denne kategorien handler om kostnadene ved å bygge den valgte teknologien. Litt forenklet sagt er dette «prislappen» på hver teknologi. Tabell 1 lister opp hvilke elementer som driver opp kostnadene for de forskjellige teknologiene.

Merk også at hvert kostnadsdrivende element ikke bare fører til kostnader i form av «prislappen» på produktet som leveres, men også en usikkerhet i form av kostnad og tidsbruk ved montering og hvordan dette påvirker resten av prosjektets fremdrift. Dermed kan kostnadselementene også sees som finansielle risikoer.

Avhengig av kontraktstrategi er det enten byggherre eller totalentreprenør som vil bære denne risikoen for økte kostnader, og som må gis grunn til å bære den for at taket skal realiseres som planlagt.

**Tabell 1: Kostnadsdrivende elementer ved anskaffelse av de ulike teknologiene**

Teknologi	Konvensjonelt	Energiproduksjon	Blågrønt tak	Park
<b>Kostnadsdrivende element</b>	<i>Utgangspunkt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solceller</li> <li>• Kabelføringer</li> <li>• Teknisk rom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blågrønne lag</li> <li>• Forsterkning av bærekonstruksjon?</li> <li>• Bygges i stedet for annet blågrønt tiltak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forsterkning av bærekonstruksjon</li> </ul>
<b>Relativ kostnad - investering</b>	<i>Utgangspunkt</i>	+ Høy	+ Middels	+ Høy

#### 3.2 Levetidskostnader

Denne kategorien omfatter kostnader utover selve investeringen, som bæres gjennom takets levetid. I hovedsak er det behovet for vedlikehold som driver disse kostnadene. Enkelte typer tak kan også gi inntekter gjennom salg av energi, leie av arealet, eller annen produksjon. Kostnader (eventuelt inntekter) blir båret av byggets eier. Tabell 2 lister opp kostnads- og

inntektsdrivende elementer for hver teknologi. Som ved investering vil også hvert element medføre en viss risiko for ytterligere overskridelser eller ressursbruk.

**Tabell 2: Kostnadsdrivende elementer gjennom de ulike teknologienes levetid**

Teknologi	Konvensjonelt	Energiproduksjon	Blågrønt tak	Park
Kostnadsdrivende element	<i>Utgangspunkt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusert strømforbruk (fra nettet)</li> <li>• Eksport av strøm</li> <li>• Vedlikehold</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduserer utgifter til overvannshåndtering</li> <li>• Luking, vanning, gjødsling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skjøtsel av planter</li> <li>• Rengjøring av utearealer</li> <li>• Klipping av gress</li> <li>• Snømåking</li> <li>• Vedlikehold av utstyr</li> </ul>
Relativ kostnad - levetid	<i>Utgangspunkt</i>	Redusert/negativ	+ Middels	+ Svært høy

### 3.3 Klimagassutslipp

Hver teknologi vil være forbundet med en viss påvirkning på klimaet, som regel gjennom utslipp tilknyttet produksjon av materialer, men også gjennom drift i hele takets levetid. Denne kategorien sammenligner faktorene som fører til utslipp fra de ulike teknologiene, oppsummert i tabell 3.

**Tabell 3: Elementer som driver klimagassutslipp for de ulike teknologiene**

Teknologi	Konvensjonelt	Energiproduksjon	Blågrønt tak	Park
Kostnadsdrivende element	<i>Utgangspunkt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produksjon av solcellepaneler</li> <li>• Kompenserer for strømproduksjon fra nettet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produksjon og transport av planter</li> <li>• Erstatte annen overvannsløsning (vanligvis betong)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omfattende materialbruk</li> <li>• Noe karbon bundet i vegetasjon</li> </ul>
Relative utslipp	<i>Utgangspunkt</i>	Redusert/negativ	Redusert/negativ	Middels/høy

### 3.4 Nødvendig sekundære tiltak

Denne kategorien omfatter andre tiltak som vil være nødvendige for å «utfylle» den valgte teknologien. Det er to typer tiltak:

Den første typen er den infrastrukturen som kreves for å støtte funksjonen til den valgte teknologien. Dette kan være egne tekniske rom, krav til adkomst, sikringstiltak, og lignende.

Den andre typen er de tiltakene som kreves for å løse de utfordringene som ikke blir løst av den valgte teknologien. Som nevnt i introduksjonen kan taket være utsatt for mange utfordringer og krav som alle må løses på en eller annen måte. Hvis overvann ikke håndteres på taket, må det håndteres et annet sted på tomten. Hvis elektrisitet ikke produseres på taket, må det kjøpes fra strømmettet. Uten uteareal på taket må annet uteareal finnes. Disse alternativene kan fort ende opp med å være dyrere enn tiltaket på taket, avhengig av forholdene på tomten.

Hovedgrunnen til at denne kategorien er medregnet er at den viser kostnaden ved å ikke bygge et brukstak. I de andre kategoriene fungerer et konvensjonelt tak som et «utgangspunkt» og er det billige alternativet, men her vil det være det dyreste ettersom alt potensialet «sløses» vekk.

Tabell 4: Sekundære tiltak som kreves for å understøtte de forskjellige løsningene

Teknologi	Konvensjonelt	Energiproduksjon	Blågrønt tak	Park
<b>Kostnads-drivende element</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All strøm kjøpes fra nettet.</li> <li>Overvannshåndtering på bakkenivå</li> <li>Bruksareal/ grøntareal må finnes på bakkenivå</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Overvannshåndtering på bakkenivå</li> <li>Teknisk rom må etableres for solceller</li> <li>Bruksareal/ grøntareal må finnes på bakkenivå</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All strøm kjøpes fra nettet</li> <li>Bruksareal må finnes på bakkenivå</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All strøm kjøpes fra nettet</li> <li>Behov for ekstra overvannstiltak?</li> <li>Taket må ha adkomst for publikum</li> <li>Takarealer og -utstyr må sikres mot publikum (og vice versa)</li> <li>Omfattende vedlikehold</li> </ul>
<b>Relativ grad av tiltak</b>	Svært høy	Middels	Middels	Middels/høy

### 3.5 Kvalitetsrisiko

Av og til kan ting gå galt med en løsning og byggskader oppstår. Enkelte løsninger er mer utsatte for at ting går galt enn andre, eller ting kan gå mer galt når de først går galt.

Kvalitetsrisiko sier noe om konsekvensene av byggskader og sannsynligheten for at de oppstår.

Generelt kan det sies at jo mer komplisert en løsning er, jo flere muligheter er det for at defekter oppstår. For kompakte, flate tak er det takmembranen som er den store utfordringen. Den må være tett, holde seg intakt over tid, og vann må ikke kunne renne rundt den, ellers kan bygget få store skader.

I grønne tak ligger takmembranen begravet under de grønne lagene oppå, ofte helt nede ved bærekonstruksjonen (omvendt takkonstruksjon). Dette gir på én måte økt risiko – takmembranen kan ikke inspiseres eller repareres uten å demontere taket – og på en annen måte reduseres risikoen – takmembranen ligger beskyttet mot vær og vind. Generelt kan det sies at dersom takmembranen er intakt og skikkelig utformet når den kapsles ned i taket, er det lav risiko for at defekter oppstår. På den annen side, dersom den har en defekt vil dette vanskelig kunne oppdages og repareres.

Tabell 5 lister opp de største risikomomentene for hver teknologi. Som vanlig brukes konvensjonelle tak som et utgangspunkt, fordi de andre teknologiene bruker et konvensjonelt tak som underlag.

Tabell 5: Risikoelementer ved de forskjellige teknologiene.

Teknologi	Konvensjonelt	Energiproduksjon	Blågrønt tak	Park
<b>Kostnads-drivende element</b>	<i>Utgangspunkt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installasjon av solcellepaneler</li> <li>Festepunkter for solceller</li> <li>Gjennomføringer for kabler.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilgjengelig/ «begravet» takmembran</li> <li>Legging av tak – mye trafikk på takmembranen</li> <li>Planterøtter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stor kompleksitet i detaljer – mange gjennomføringer og overganger</li> <li>Utilgjengelig takmembran</li> <li>Mye arbeid på taket</li> <li>Planterøtter</li> </ul>
<b>Relativ risiko</b>	<i>Utgangspunkt</i>	+ Middels	+ Middels	+ Høy

### 3.6 Oppsummering av kriteriene

Tabell 6 oppsummerer konklusjonene i tabell 1-5. Merk at dette gir et svært generelt overblikk over de ulike teknologiene, og kan ikke brukes til å konkludere om teknologienes egnethet i det enkelte prosjekt uten en egen analyse.

**Tabell 6: Generell oppsummering av tabell 1-5**

<b>Teknologi</b>	<b>Konvensjonelt</b>	<b>Energiproduksjon</b>	<b>Blågrønt tak</b>	<b>Park</b>
<b>Relativ kostnad - investering</b>	<i>Utgangspunkt</i>	+ Høy	+ Middels	+ Høy
<b>Relativ kostnad - levetid</b>	<i>Utgangspunkt</i>	Redusert/negativ	+ Middels	+ Svært høy
<b>Relative utslipp</b>	<i>Utgangspunkt</i>	Redusert/negativ	Redusert/negativ	+ Middels/høy
<b>Relativ grad av tiltak</b>	Svært høy	Middels	Middels	Middels/høy
<b>Relativ risiko</b>	<i>Utgangspunkt</i>	+ Middels	+ Middels	+ Høy

## 4 Videre steg for analyse

Funnene som er oppsummert i kapitlene over er i seg selv ikke nok til å gjøre konklusjoner om egnetheten til de ulike teknologiene i et enkelt prosjekt. Kapittel 3 oppsummerer ulike faktorer, men for å gjøre en ordentlig vurdering må faktorene vektet i henhold til kriterier spesifikke til byggeprosjektet. For eksempel kan dårlige solforhold utelukke solceller, eller så kan krav til grøntarealer gjøre det nødvendig å benytte planter på taket. Kanskje har prosjektet høye klima-ambisjoner som gjør det nødvendig å vekte den kategorien ekstra tungt.

Tre beslutningsmodeller presenteres i dette kapitlet. Det finnes andre modeller som kan brukes, disse er bare et eksempel.

### 4.1 Enkel vekting

Denne metoden går ut på at hver kategori gis et vekt-tall utfra hvor viktige de er for prosjektets mål. Teknologiene gis poeng etter deres ytelse i hver kategori, og poengene ganges med vekt-tallene for å finne en endelig poengsum. Teknologien med flest poeng velges.

### 4.2 SWOT-analyse

SWOT står for «Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats». Metoden blir ofte brukt for å analysere organisasjoner eller bedrifter, men kan også brukes for å vurdere ulike alternativer. SWOT-analyse er en kvalitativ metode der alternativer analyseres hver for seg ved bruk av en 2x2-matrise, som vist i Tabell 7. Fordeler og ulemper med alternativet (som f.eks. presentert i kapittel 2 og 3) blir listet opp som interne faktorer, mens muligheter og trusler alternativet tilfører prosjektet er eksterne faktorer.

Tabell 7: Rammeverk for SWOT-analyse

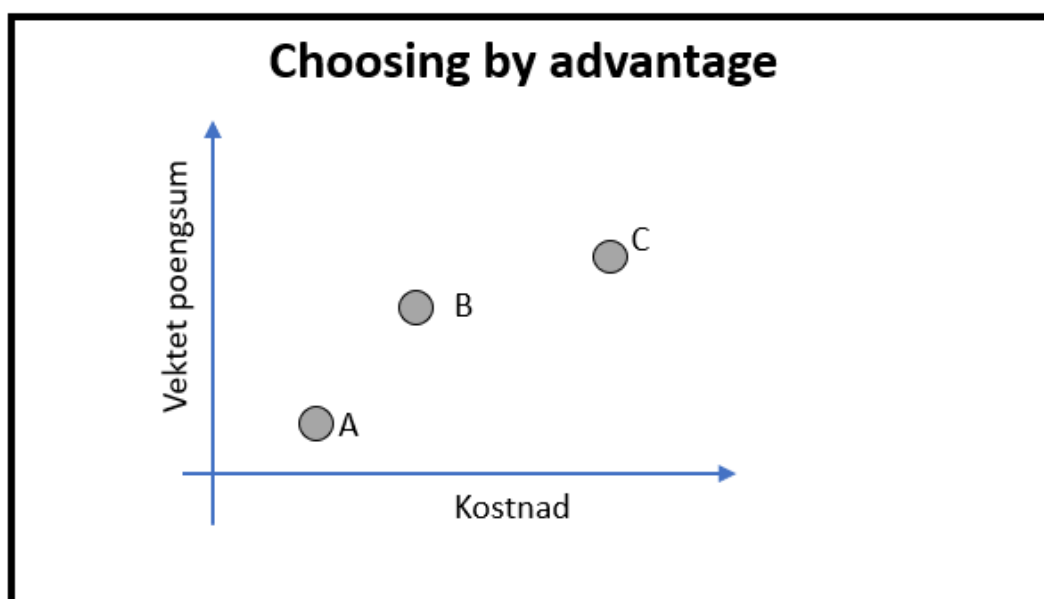
	Gunstige	Ugunstige
Interne faktorer	<b>Strengths</b> Fordeler med teknologien	<b>Weaknesses</b> Ulemper med teknologien
Eksterne faktorer	<b>Opportunities</b> Muligheter teknologien gir i dette prosjektet	<b>Threats</b> Utfordringer teknologien gir i dette prosjektet

### 4.3 Choosing by advantage (CBA)

Denne metoden går ut på omtrent det samme som enkel vekting, men tar det et skritt videre. Når en vektet poengsum skal regnes ut for alternativene i en CBA-analyse er det vanlig å holde kostnader utenfor, da disse kommer inn i neste steg.

Deretter sammenlignes den vektete poengsummen for hvert alternativ med kostnaden for alternativet, så de ulike alternativene kan plottes grafisk i et koordinatsystem med disse to faktorene langs aksene. En konseptuell fremstilling av en CBA-analyse er vist i figur 11.





**Figur 11: Forenklet eksempel på bruk av Choosing By Advantage-metoden**

Grafen som plottes brukes for å bedømme hvorvidt det er lønnsomt å investere i alternativene med høyere poengsum. I det forenklede eksempelet i figur 11 får alternativ C den høyeste poengsummen, men koster dobbelt så mye som det nesten like gode alternativ B. I dette tilfellet vil det antagelig lønne seg mer å gå for alternativ B enn C, fordi den lille økningen i poengsum ikke er verdt den store økningen i kostnad.

## 5 Konklusjon

---

Brukstak kan benyttes for å løse mange utfordringer som oppstår på trange tomter i bystrøk. Tiltak som vanligvis må anlegges på bakkenivå kan til en viss grad erstattes av tiltak på taket. Derimot er det ofte ikke plass til å gjøre alle tiltakene samtidig, og det må velges mellom forskjellige teknologier.

Valg av teknologi må baseres på systematiske analyser av fordeler og ulemper, samt behov og muligheter i prosjektet. Det rette valget av teknologi avhenger av hva som er ønskelig og hva som er gjennomførbart. Vekting av de forskjellige kriteriene kan brukes for å finne den riktige løsningen.

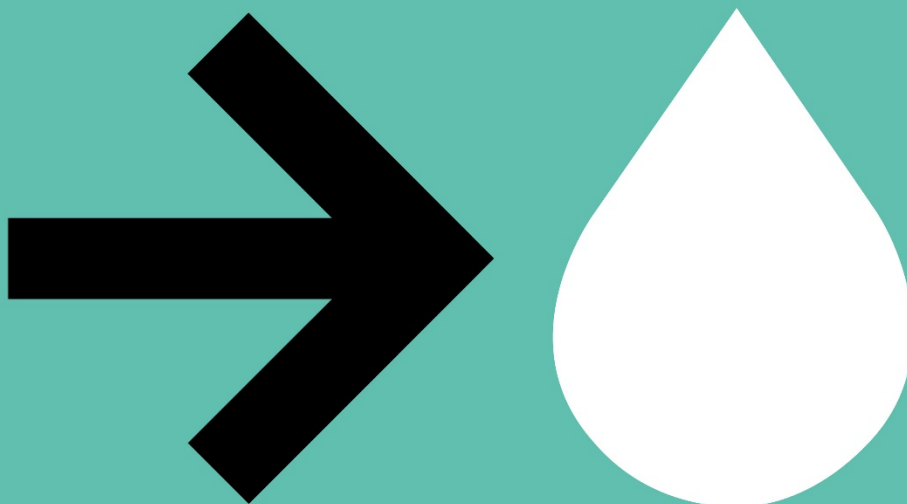
Det er nødvendig å se på hvordan løsningen påvirker taket i hele dets levetid. Selv om investeringskostnaden til en teknologi kan være høy, kan det spares penger i lengden. Den alternative kostnaden til hver teknologi må også vurderes. Om et behov ikke fylles ved å benytte taket må det gjøres på en annen måte, og det kan være enda mer kostbart. «Nullalternativet» å ikke bygge brukstak har sjelden null kostnad.

## 6 Kilder

---

- Andenæs, Erlend. 2021. «Risk assessment of blue-green roofs». Doctoral thesis, Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology.  
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2825004>.
- Hestnes, Anne Grete, og Nancy Lea Eik-Nes. 2017. *Zero Emission Buildings*.  
<https://www.fagbokforlaget.no/Zero-Emission-Buildings/19788245020557>.
- ISO. 2018. «ISO 31000:2018 Risk Management - Guidelines». International Standardization Organization.
- Johansen, Agnar. 2015. «Project Uncertainty Management a New Approach—The “Lost Opportunities”». Ph. D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- PMBOK. 2013. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 5. utg. Newtown Square: Project Management Institute.
- Rausand, Marvin. 2013. *Risk assessment: theory, methods, and applications*. Bd. 115. John Wiley & Sons.





## CONSORTIUM

### Private sector

**SKANSKA**

**MESTERHUS**

Multiconsult

Finans Norge

SKJÆVELAND  
GRUPPEN

NORGESHUS

Leca

isola

### Public sector



Statens vegvesen



Noregs  
vassdrags- og  
energidirektorat

AVINOR



Jernbane-  
direktoratet



STATSBYGG



TRONDHEIM KOMMUNE

### Research & education

SINTEF

BI

NTNU

Meteorologisk  
institutt

NGI