



## BACHELOROPPGAVE

Overvannshåndtering på Castbergkvartalet

Stormwater management at Castbergkvartalet

Helene Lykke Beer-Svendsen

Thale Birkeland

Eline Nygaard

BYG350 Bacheloroppgave – Bygg

Institutt for byggfag, Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder på Høgskulen på Vestlandet: Irene Holvik Johnsen, Trond Einar Martinsen og Fredrik Ingmar Boge

Veiledere Norconsult: Ingrid Vatne

Veiledere Brødrene Ulveseth: Bjarte Veland

Dato: 22. mai 2023

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, *jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.*

## Forord

Bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende del av bachelorstudiet byggingeniør ved Høgskulen på Vestlandet. Vi er tre studenter som alle går bachelorstudiet bygg, under institutt bygg og landmåling. Oppgaven utgjør totalt 20 studiepoeng i det avsluttende semesteret av studieprogrammet, og er utarbeidet av Eline Nygaard, Helene Lykke Beer Svendsen og Thale Birkeland. Alle tre går studieretningen prosjekt- og byggeledelse, hvor Eline og Helene går profil konstruksjonsteknikk, og Thale går profil miljø, plan og infrastruktur.

Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med *Brødrene Ulveseth AS*. Gjennom møter med *Brødrene Ulveseth*, ble det ytret problemer og utfordringer innenfor det aktuelle prosjektet. Utfordringen vekket interesse i gruppen, og det ble bestemt å fokusere på en eksisterende og uløst utfordring i prosjektet, nemlig overvannshåndteringen på *Castbergkvartalet*.

Vi ønsker å rette en stor takk til alle som har bidratt til faglig støtte gjennom semesteret. Vi takker *Brødrene Ulveseth* for deres støtte, veiledning og rådgivning i forbindelse med denne oppgaven. Spesielt takk til avdelingsdirektør for *prosjekt og teknologi*, *Bjarte Veland*. Vi vil også benytte sjansen til å takke våre interne veiledere på *HVL*; *Irene Holvik Johnsen*, *Trond Einar Martinsen* og *Fredrik Veland Boge*. I tillegg vil vi takke *Ingrid Vatne* fra *Norconsult*, for god veiledning gjennom oppgaven.

Til slutt vil vi takke familie og venner for støtte og motivasjon gjennom semesteret, og en stor takk for at de har tatt seg tid til å lese gjennom oppgaven og kommet med innspill.

## Sammendrag

Selskapet *VestenFjeldske Eiendom* skal utvikle fem adresser midt i Bergen sentrum, i et felles prosjekt som går under navnet *Castbergkvartalet*. *Castbergkvartalet* er et rehabiliteringsprosjekt, som tar plass i *Vestre Torggate* og *Håkonsgaten* i Bergen sentrum. Prosjektet har et mål om å utarbeide de mest attraktive arbeidsplassene innenfor kontorsektoren i byen. Videre skal bygget også BREEAM-sertifiseres i henhold til BREEAM v1.2-kravene.

De eksisterende byggene bærer et historisk preg, og stiller dermed visse krav til både rehabilitering og fasadeendringer. Dette har begrenset mulighetene i prosjektet og har tidligere skapt problemer med godkjenning fra kommunen. Til tross for at rammetillatelsen har blitt godkjent, eksisterer det alternative metoder for overvannshåndtering på tak. Kan implementering av en alternativ løsning forbedre effektiviteten sammenlignet med nåværende løsning? Og kan implementeringen i tillegg åpne opp muligheten for ytterlig akkumulering av BREEAM-poeng? I rapporten belyses en alternativ løsning til overvannshåndtering på taket, som kan gi muligheten for å samle inn ytterligere BREEAM-poeng.

Undersøkelser av bakgrunnsteori har satt grunnlaget for resultatet. Dette inkluderer blant annet generell teori om overvann og forskjellige metoder for overvannshåndtering. Metodikken for overvannshåndtering er påvirket av kommunale og offentlige retningslinjer, samt relevante juridiske rammer. Informasjon angående det planlagte prosjektet er gitt i form av dokumenter og modeller fra *Brødrene Ulveseth*. Nedbørsdata legger grunnlaget for resultatet i overvannsberegningene på tomten. For realisering av den nye løsningen har det blitt utført konstruksjonsmessige overslagsberegninger for takbjelkene.

Den alternative løsningen for overvannshåndtering på taket inneholder både sedumtak og blågrønne tak. Forslaget ble preget av ønskelig innslipp av naturlig lys, og deler av glasstaket ble derfor bevart i den alternative løsningen. I tillegg var det viktig at forslaget ikke var i strid med lover og regler, slik at det potensielt kan blitt gjennomført.

Overvannsberegningene av det alternative forslaget resulterte i lav effektivitet og begrenset fordrøyningskapasitet. I tillegg indikerte overslagsberegningene for bjelkene et behov for oppdimensjonering for å kunne håndtere lastvirkningen konstruksjonen blir utsatt for. Beregningene viste også for høy utnyttelsesgrad for den planlagte løsningen.

Forslaget gir muligheten til å samle inn flere BREEAM-poeng, men på en annen side viste beregningene at forslaget ikke hadde vært særlig effektivt med tanke på fordrøyning av overvann.

## Abstrakt

The company *VestenFjeldske Eiendom* will rehabilitate five addresses in the heart of Bergen, which goes under the name *Castbergkvartalet*. *Castbergkvartalet* is a restoration initiative that will be conducted in central Bergen's *Vestre Torggaten* and *Håkonsgaten*. The project intends to develop the city's most desirable workplaces within the office sector. The structure must also be BREEAM certified in accordance with the requirements of BREEAM v1.2-requirements.

The historical significance of the existing structures establishes strict standards for both façade alterations and repair. As a result, the project's potential has been constrained, and it has historically had issues getting municipal approval. Other are othergies for managing stormwater on rooftops even when the framework permit has been authorized. Would implementing a different solution be more effective than the existing one? And will the implementation allow for the potential addition of more BREEAM points? This report offers a different stormwater management strategy that can help earn more BREEAM points by managing stormwater on the roof.

The result's foundation has been established by studies of background theory. This covers a variety of topics, such as general stormwater theory and various stormwater management techniques. The methodology for stormwater management is influenced by municipal and public guidelines and relevant legal frameworks. Documents and models from *Brødrene Ulveseth* are used to provide information regarding the proposed project. The result of the stormwater calculations on the figure is based on prediction data. Structural estimates for the roof beams have been made in order to realize the proposed solution.

Both sedum roofs and blue-green roofs are alternatives to the current stormwater management system for use on roofs. Parts of the glass ceiling were kept in the alternative option because the concept was distinguished by the desirable entry of natural light. In order for the idea to possibly be adopted, it was crucial that it did not break any laws or rules.

The alternative proposal's stormwater calculations led to low efficiency and a small disposal capacity. In order to be able to handle the load impact to which the construction is subjected, it was also indicated by the estimate calculations for the beams that they needed to be upgraded. The calculations also indicated a level of usage that was too high for the intended solution.

The idea provides the chance to Increase BREEAM points, but calculations revealed that the proposal had not been very beneficial in terms of stormwater absorption.

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	II
Sammendrag .....	III
Abstrakt .....	IV
Liste over figurer .....	VIII
Liste over tabeller.....	IX
Liste over formler .....	X
Terminologi .....	X
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	2
1.2 Formål.....	3
1.3 Problemstilling.....	3
1.4 Begrensninger.....	4
2 Områdebeskrivelse.....	4
2.1 Introduksjon av området.....	4
2.1.1 Topografisk og klimatiske forhold .....	5
2.1.2 Grunnforhold og infiltrasjonsevne .....	5
2.2 Kartlegging av VA situasjon .....	6
2.2.1 Eksisterende rør i området.....	6
2.2.2 Nedbørsfelt.....	8
2.2.3 Avrenningsmønster, flomutsatte områder og flomveier .....	8
2.2.4 Flomveg og kartlegging.....	10
3 Rammetillatelse og lovverk .....	10
3.1 Rammetillatelsen.....	10
3.2 Lover og regler for overvannshåndtering.....	11
3.2.1 Retningslinjer i Bergen kommune og Plan- og bygningsloven .....	11
3.2.2 Vernet bygning .....	11
3.3 Tidligere avslag på rammetillatelser .....	12
4. Teori.....	12
4.1 overvann.....	12
4.1.1.Overvannshåndtering i tettbebygde strøk.....	12
4.1.2 Tretrinnsstrategien .....	13
4.2 Overvannshåndtering på tak.....	14
4.2.1 Grønne tak.....	14
4.2.2 Blågrønne tak .....	18
4.2.3 Fordeler med grønne- og blågrønne tak .....	20

4.2.4 Ulemper med grønne- og blågrønne tak.....	20
4.3 Overvannshåndtering i vannmagasin.....	21
4.3.1 Oppbygging av vannmagasin under bakken.....	21
5. BREEAM .....	22
5.1 BREEAM-NOR 2016 .....	22
5.1.1 LE Arealbruk og økologi .....	22
5.1.2 Pol 03 Overvannshåndtering .....	23
5.2 BREEAM-NOR 2021 .....	25
5.2.1 LE Arealbruk og økologi .....	25
5.3 Innovasjon .....	26
6. Metode .....	27
6.1 Rasjonelle metode.....	28
6.2 Dimensjonering av konstruksjon .....	29
6.3 BREEAM .....	30
7. Planlagt løsning av Castbergkvartalet .....	30
7.1 Takbjelkene og glasstaket .....	32
7.2 Overvannshåndtering nå og etter rehabilitering .....	32
7.3 Samlet BREEAM poeng Pol 03 .....	33
7.3.1 Flomrisiko .....	33
7.3.2 Overvannshåndtering.....	34
7.4 Samlet BREEAM poeng Arealbruk og Økologi (LE) .....	34
7.5 utfordringer og forbedringer .....	34
7.5.1 Ulemper ved glasstak .....	34
7.5.2 utfordringer med limtrebjelkene .....	34
8. Nytt forslag til <i>Castbergkvartalet</i> .....	35
8.1 Bakgrunn for valg av tak.....	35
8.2 Gjennomføring av forslaget.....	35
8.3 Kvalifiserte tiltak.....	37
9. Dimensjonering av overvann på tak.....	38
9.1 Faktorene i den rasjonelle formel .....	38
9.2 Dimensjonerende avrenning .....	40
9.2.1 Usikkerheter knyttet til den rasjonelle formelen .....	41
10. Dimensjonering av takbjelkene .....	42
10.1 Laster .....	43
10.1.1 Egenlaster .....	43
10.1.2 Snølast .....	43

10.1.3 Vindlast .....	44
10.2 Oppsummering av laster .....	46
10.3 Overslagsberegninger av bjelker i bruddgrenstilstand .....	46
10.3.1 Kapasitet og påførte krefter .....	47
10.4 Spenningskontroll bøyning og skjær – Tak A.....	47
10.5 Alternativ løsning på konstruksjon – Tak A .....	49
10.6 Spenningskontroll bøyning og skjær – Tak B.....	49
10.7 Alternativ løsning på konstruksjon - Tak B.....	50
11. Drøfting.....	51
11.1 Effektiviteten av overvannshåndteringen .....	51
11.2 Mulige BREEAM-poeng.....	52
11.2.1 LE-02 Økologisk risiko og muligheter .....	54
11.2.2 LE 04 Økologisk endring og forbedring .....	54
11.2.3 LE 05 Langsiktig økologisk forvaltning og vedlikehold .....	55
11.2.4 LE 08 Lokal overvannshåndtering.....	55
11.3 Oppsummering av innsamlede BREEAM-poeng .....	56
12. Konklusjon .....	56
13. Forslag til videre arbeid .....	57
14. Referanser .....	58
15 Vedlegg.....	62
Vedlegg 1: Beregninger for dimensjonerende overvannsmengder .....	62
Vedlegg 2: Dimensjonering av bjelker.....	62

## Liste over figurer

Figur 1: Nåværende situasjon av Casbergkvartalet til venstre, situasjon etter rehabilitering (høyre). Kilde: Brødrene Ulveseth.....	1
Figur 2:Oversikt over området, kilde: (Bergenskart, u.d.).....	4
Figur 3: Området rundt Castbergkvartalet, kilde; (Bergenskart, u.d.) .....	5
Figur 4: Adressene som går under Castbergkvartalet og nærområdet, Kilde; (Bergenskart, u.d.).....	5
Figur 5: Oversikt over berggrunn i området, Kilde: (Norges Geologiske Undersøkelse, u.d.) .....	6
Figur 6: Oversikt over VA-nettverket i Castbergs kvartalet. Castbergkvartalet er vist med oransje markering. Kilde: Bergen kommune.....	7
Figur 7: Blått merke viser det begrensede området som er en del av det lille nedbørsfeltet. Kilde: (Bergenskart, u.d.).....	8
Figur 8: Avrenningslinjer og Aktsomhetssone for flom. De røde linje viser avrenningslinjene, mens det blå området viser aktsomhetssonen for flom. Kilde: (Bergenskart, u.d.) .....	8
Figur 9: Viser forsenkninger, åpne vassdrag og lukkede vassdrag. Kilde: (Bergenskart, u.d.) .....	9
Figur 10: Tretrinnsstrategien. Kilde: (VA forum, u.d.).....	14
Figur 11: Bildet viser bygninger med grønne tak på Løkkeveien i Stavanger. Kilde: (Aftenbladet, 2021). .....	15
Figur 12: Figuren illustrerer de tre ulike type grønne tak. Ekstensive grønne tak (venstre), semi- intensive grønne tak (midten) og intensive grønne tak (høyre). Kilde: (ResearchGate, u.d.) .....	16
Figur 13: Viser en generell oppbygging av sedumtak. Til venstre er oppbyggingen på et flatt tak illustrert, mens til høyre er oppbygging på et skråtak vist. Kilde: (Byggforskserien, 2012).....	17
Figur 14: Norges første blågrønne tak på Vega Scene. Takløsningen er kalt BlueProof Green fra leverandøren Protan. Scene er for det meste beplantet med sedumvekster og endte opp med BREEAM-NOR klassifisering «very good». Kilde: (Protan, u.d.) .....	18
Figur 15: Mulig oppbyggingen av et blågrønt tak. Kilde: (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.) .....	19
Figur 16: Vannmagasin under bakken. Kilde: (VA/Miljøblad, 2012). .....	21
Figur 17: Illustrere innsiden av atriet. Kilde: Brødrene Ulveseth .....	31
Figur 18: Atriet innvendig. Kilde: Brødrene Ulveseth.....	31
Figur 19: Takløsningen Castbergkvartalet. Kilde: Brødrene Ulveseth.....	31
Figur 20: Takbjelkene i atriet fra innsiden. Kilde: Brødrene Ulveseth.....	32
Figur 21: Takrennene på taket over atriet etter den planlagte løsningen. Kilde: Brødrene Ulveseth..	33
Figur 22: Illustrerer Sedumtak på tak A. Kilde: StreamBIM.....	36
Figur 23: Modell av tak B etter heving og utflating av tak. Kilde: StreamBIM .....	36
Figur 24: Oversikt over det grønne- og blågrønne taket, med areal. Kilde: Brødrene Ulveseth .....	37



Figur 25 IVF-kurve, Florida, Bergen. Kilde: (Norsk Klimaservicesenter, u.d.).....	39
Figur 26: Viser den bærende limtrekonstruksjon under glasstaket. Konstruksjonen er delt inn i to deler, del A og del B, for å skille de to takområdene. Kilde: Brødrene Ulveseth .....	42
Figur 27: Figuren viser sonene som taket deles inn i med tanke på snølast. Kilde: StreamBIM.....	44
Figur 28: Innspente stålplater brukt på fylkesbygget, Kilde: Sweco .....	48
Figur 29: Deformasjoner på tak A med strekkstag. Kilde (StaadPro, u.d.).....	49
Figur 30: Deformasjoner på tak B med strekkstag. Kilde StaadPro.....	50

## Liste over tabeller

Tabell 1: Terminologi.....	X
Tabell 2: Oversikt over emnene i LE Overvannshåndtering etter BREEAM-NOR 2016. Kilde: (BREEAM-NOR, 2019, s. 231).....	23
Tabell 3: Pol 03 Overvannshåndtering, poeng og minstekrav. Kilde: (BREEAM-NOR, 2019, s. 268)....	24
Tabell 4: Emnene i LE Overvannshåndtering etter BREEAM-NOR 6.0 2021 versjonen. Kilde: (BREEAM-NOR, 2022, s. 283), .....	26
Tabell 5: Oversikt over standarder brukt .....	27
Tabell 6: Tabell for valg av avrenningskoeffisient. Kilde: (Bergen kommune, 2005), side 14.....	38
Tabell 7: Gjentakintervall. Kilde: (Bergen kommune, 2005), side 11 .....	39
Tabell 8: Oversikt over nedbørintensiteten etter varighet. Kilde: (Norsk Klimaservicesenter, u.d.)....	40
Tabell 9: Beregninger for overvannsmengde på konvensjonelle tak og glasstak i l/s. ....	40
Tabell 10: Beregninger for overvannsmengde som følge av sedum- og blågrønne tak i l/s.....	41
Tabell 11: Oppsummering av laster på tak A .....	46
Tabell 12: Oppsummering av laster på tak B.....	46
Tabell 13: .....	53
Tabell 14: .....	56

## Liste over formler

Formel 1: Den rasjonelle formel.....	28
Formel 2 benyttes for prosentregning .....	41
Formel 3 Snølast.....	43
Formel 4: Vindlast .....	45
Formel 5: Stedsvindhastighet.....	45
Formel 6 Skjær.....	47
Formel 7 Opptredende skjærspenning .....	47
Formel 8 Dimensjonerende spenningskapasitet for moment .....	48
Formel 9 Opptredende bøyepeninger .....	48

## Terminologi

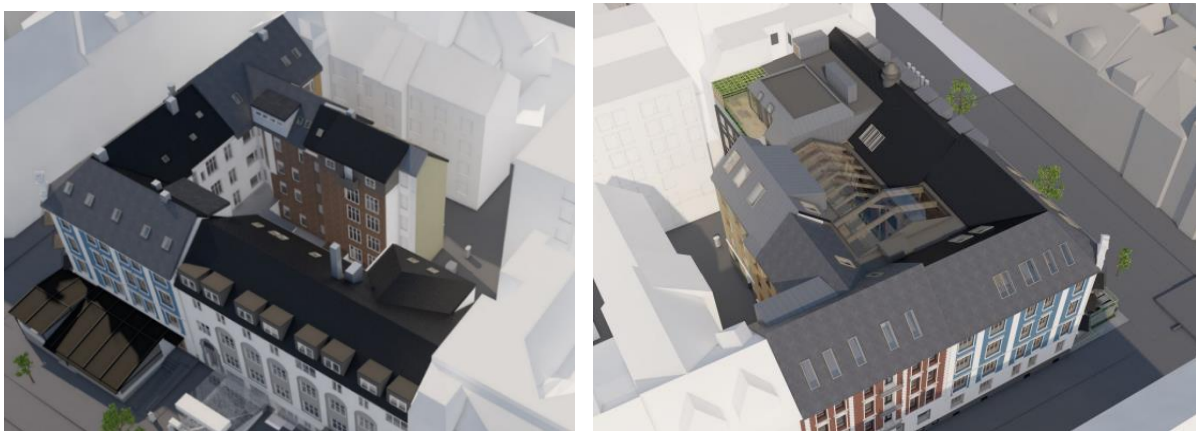
Begrep	Definisjon
<i>Avrenningsmønster</i>	Beskriver hvordan overvann samler seg, beveger seg og fordeler seg over et gitt område.
<i>Avrenningsvolum</i>	Viser forholdet mellom avrenning fra et nedbørsfelt og nedbøren over samme område.
<i>Blågrønn faktor</i>	Et verktøy som brukes innenfor urban planlegging der en høyere grad av blågrønn faktor indikerer bedre håndtering av overvann og forbedret økologisk funksjonalitet.
<i>BREEAM</i>	Verdens eldste og Europas ledende miljøsertifiseringsverktøy for bygninger. Klassifiseringen bygges på et poengsystem. Poengene oppnås etter kriterier innenfor et område.
<i>Byforming</i>	Endre og lage mer effektiv bruk av dårlig utnyttede arealer sentralt i byene
<i>Bøyemoment</i>	Elementet blir bøyd som følge av krefter
<i>Fortetting</i>	Effektiv bruk av arealer i allerede bebygde områder.
<i>Gjentaksintervall</i>	Hyppigheten av nedbøren.
<i>IVF-kurve</i>	Nedbørintensiteten i form av Intensitet-Varighet-Frekvens verdier (IVF-kurv) fra en målestasjon.
<i>Kompaktby</i>	Byutvikling i form av å bygge kompakt.
<i>Konvensjonelle tak</i>	Tradisjonelle tak laget av ulike materialer for eksempel: Takstein, takplater, skifer og videre. Består av tette overflater.
<i>LOH</i>	Lokal overvannshåndtering. Handler om å håndtere overvann lokalt på tomten i form av fordrøyning eller infiltrering.
<i>Områderegulering</i>	Lages av kommunen for å styre utviklingen i et større område, med formål å sikre en god og bærekraftig byutvikling.
<i>SOSI-fil</i>	Det offisielle norske standardformatet for utveksling av digital kartdata.
<i>Urbanisering</i>	Prosess der mennesker flytter fra landsbygder til byområder.
<i>Varmeøy</i>	Referer til et urbant område som har høyere temperatur grunnet det omkringliggende landskapet som følge av menneskelig aktivitet, tetthet av bygninger og asfalt.

Tabell 1: Terminologi

# 1 Innledning

De siste årene har økende urbanisering og fortetting i byer, i kombinasjon med økt nedbør, medført en rekke utfordringer knyttet til overvann (NOU, 2015: 16, s. 26). I slike områder er det av avgjørende betydning å ha en effektiv plan for overvannshåndtering, for å forebygge oversvømmelser og andre potensielle konsekvenser som følge av utbygging. I urbaniserte områder er det dermed nødvendig å implementere tiltak og løsninger for å håndtere overvann, slik at det ikke oppstår flom og andre former for skadevirkninger.

*Brødrene Ulveseth* har av *Vesten Fjeldske Eiendom* fått i oppdrag å utføre rehabiliteringen av *Castbergkvartalet*, i samsvar med ønskene fra arkitekten og byggherren. De eksisterende bygningene har en u-formasjon og en åpen bakgård. Planen er å utvide slik at den åpne bakgården blir omgjort til et innendørs atrium. Ettersom utbyggingen tar sted i midten av de eksisterende bygningene, vil det oppstå utfordringer knyttet til overvann. De nåværende takene på bygningene er skråtak, samt taket over atriets også vil bli et skråtak i glass. Dette betyr at arealet av tette flater på tomten vil øke etter rehabiliteringen, og vannet vil ikke lenger ha muligheten for å infiltreres i grunnen slik som tidligere. Håndteringsmetoden av overvann må derfor tilpasses disse endringene.



Figur 1: Nåværende situasjon av Castbergkvartalet til venstre, situasjon etter rehabilitering (høyre). Kilde: *Brødrene Ulveseth*.

Figur 1 viser nåværende situasjon til venstre, og situasjonen etter rehabiliteringen til høyre. I samtaler med *Brødrene Ulveseth* har det blitt informert om den pågående diskusjonen knyttet til overvannshåndteringen på taket etter utbyggingen. Det har blitt utformet en aktuell løsning til overvannshåndteringen i tidlig fase, men det har blitt ytret at denne løsningen ikke var fullstendig fastsatt. Det er ønskelig å kombinere lysinnslipp inn i atriets med en god metode for overvannshåndtering, som kunne blitt godkjent av kommunen. Rehabiliteringen av *Castbergkvartalet* gir muligheten for å utvide perspektivet og implementere bærekraftige løsninger for overvannshåndtering.

## 1.1 Bakgrunn

I dagens samfunn står Norge overfor en stor klimautfordring med økende årsnedbør, og en økt fortetting og urbanisering. Dermed blir naturlige flater erstattes med mindre permeable dekker. (NOU, 2015: 16). Ifølge *Miljødirektoratet* har nedbørsmengden i Norge økt med ca. 20 prosent fra 1900 til 2016 (Miljødirektoratet, u.d.). En rapport utarbeidet av *SINTEF* ble det lagt frem at vann- og avløpsnettets slet med å håndtere kraftige regnskyl. Samtidig økte antallet anmeldte skader fra 1800 i 2008, til 28 000 i 2016. Dette resulterte i at erstatningsutbetalingene for skadene økte fra 700 millioner norske kroner i 2008, til 1,3 milliarder i 2016 (Jære, 2018).

Konvensjonelle metoder for håndtering av overvann går ut på å lede vannet raskt på overflaten frem til nærmeste sluk. Dette er imidlertid ikke en bærekraftig løsning med tanke på fremtidens klimaendringer. Det kan i tillegg føre til overbelastning på ledningsnett, og økt risiko for flom og skade i urbaniserte områder og tettbebygde strøk. Bergen kommune har adressert disse utfordringene i kommuneplanens arealdel, og har utarbeidet egne retningslinjer for håndtering av overvann. I stedet for å bruke en konvensjonell metode, står det i Bergen sin kommuneplan at overvannet burde håndtere lokalt. Formålet med lokal overvannshåndtering (LOH) er å ivareta sikkerheten mot skade på helse, miljø og infrastruktur, og samtidig ivareta overvannet som ressurs (Bergen kommune, 2005). En løsning til LOH er å ta i bruk grønne og blågrønne tak. Dette kan bidra til å forsinke og fordrøye nedbør, samtidig som de har positive effekter på det biologiske mangfoldet og en isolerende effekt på bygninger (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.).

Det er en forventet befolkningsvekst i Norge, der Bergen kommune har prognostisert en økning på 30 000 innbyggere frem mot 2040 (Bergen kommune, 2015). Bergen sentrum er fra før av en tett bebygd by, men har også et stort potensial for arealutnyttelse. For eksempel har flere av byens bygg en stor bakgård uten noe spesiell funksjon, slik som Castbergkvartalet. En områderegulering som omhandler rehabilitering og gjenbruk av eksisterende bygg og arealer, vil være et avgjørende bidrag til en bærekraftig framtid og et styrket byrom (Riksantikvaren, 2020). Dette må bli gjort på en måte som samtidig tar hensyn til byens historiske og kulturelle verdier.

Et verktøy som normalt benyttes i forbindelse med nybygg og større rehabiliteringer er BREAAAM-sertifisering. Den vurderer ni kategorier med ulike kriterier for å redusere miljøpåvirkningen på bygninger (Grønn byggallianse, u.d.). Poeng tildeles basert på valgte tiltak, og jo flere poeng, jo høyere sertifisering.

## 1.2 Formål

Formålet med denne bacheloroppgaven er å oppmuntre til bruk av nye strategier for overvannshåndtering, ved å belyse gode og nyskapende metoder. Mer spesifikt ønskes det å bidra til utvikling og implementering av nye og bærekraftige løsninger for overvannshåndtering, spesielt i Bergen. I hovedsak handler det om en helhetlig tilnærming til bærekraftig områderegulering i samsvar med LOH, kombinert med bevaring og forbedring av økosystemer. Gjennom å fokusere på ett av Bergens mange bygninger med dårlig utnyttet areal, belyses en alternativ metode som kan ha potensial til å fungere på flere eiendommer i Bergen.

## 1.3 Problemstilling

Den planlagte løsningen av overvannshåndteringen undersøkes etter gitte dokumenter fra *Brødrene Ulveseth*. Vurderingen av den alternative løsningen baseres på den godkjente rammetillatelsen, og de lovene som inngår. Både BREEAM-NOR 2016 og BREEAM-NOR 2021 vil belyses, da Castbergkvartalet ble vurdert etter 2016-versjonen, og det alternative forslaget ble vurdert etter 2021-versjonen. Med bakgrunn i dette og relevant teori, ble en alternativ metode for overvannshåndtering utviklet.

For å fastsette hvor mye overvann som bør fordrøyes på taket, ble det utført overvannsberegninger. Disse beregningene viser blant annet hvor mye vann som kan fordrøyes på taket i den alternative løsningen. Det er også nødvendig å utføre beregninger på konstruksjonen som følge av endring av lastsituasjon på taket. Målet er å utvikle et alternativt forslag for overvannshåndtering etter LOH, som i tillegg er bærekraftig og kan gi flere BREEAM-poeng etter 2021 versjonen. Forslaget skal også være mulig å realisere.

På bakgrunn av dette har følgende problemstilling blitt utledet:

- *Vurdere planlagt løsning, avgrenset til overvannshåndtering på taket.*
- *Utvikle et alternativt forslag til overvannshåndtering, med fokus på grønne- og blågrønne tak, og effekten dette vil ha på avrenningsmengden.*
- *Utføre overslagsberegninger på takkonstruksjonen for å undersøke om takbjelkene er kapabel nok med tanke på den økte lastvirkningen.*
- *Estimere mulige BREEAM-poeng som kan oppnås i den alternative løsning, etter BREEAM-2021.*
- *Sammenlikne estimert poengoppnåelse med avgrenset BREEAM-sertifisering av planlagt løsning.*



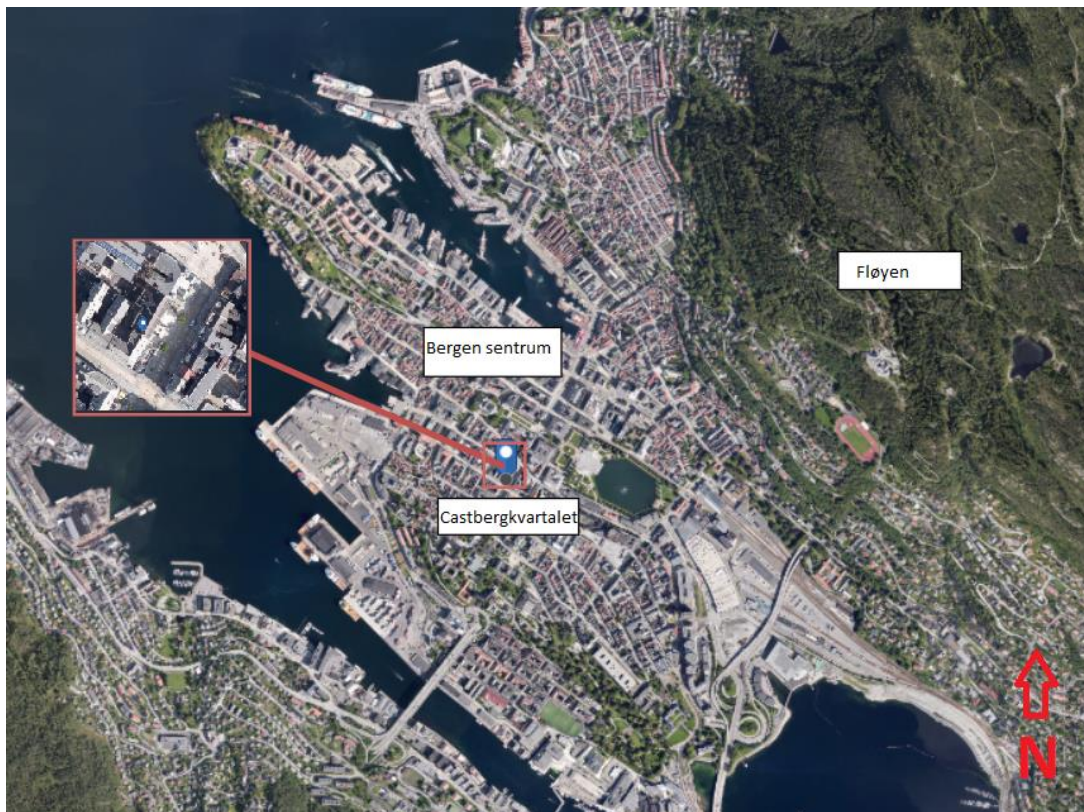
## 1.4 Begrensninger

Den største begrensningen er at *Castbergkvartalet* er et vernet bygg. Hvilket medfører ytterlige lover og regler som må overholdes ved rehabilitering og endringer av bygget. I henhold til kulturminneloven §15 er det ikke tillatt å gjøre endringer på fasaden som vil påvirke helhetsuttrykket til bygget (Lovdata, 1992). Rehabiliteringen må gjøres innenfor de eksisterende rammene, og med tanke på å bevare byggets arkitektoniske og historiske verdi. Utbyggingen av atriet tar plass i bakgården, og endringen vil ikke påvirke helhetsuttrykket. Tiltaket er dermed en godkjent utførelse så lenge takhøyden er innenfor vernereglene. Dette må tas i betraktning i det alternative forslaget, og begrenser dermed mulighetene for å utføre omfattende endringer på taket.

Prosjektet er fortsatt i tidlig fase og derfor er ikke alle detaljene utarbeidet. I overslagsberegningene av takbjelkene har det blitt gjort noen estimeringer med tanke på lastvirkninger på taket.

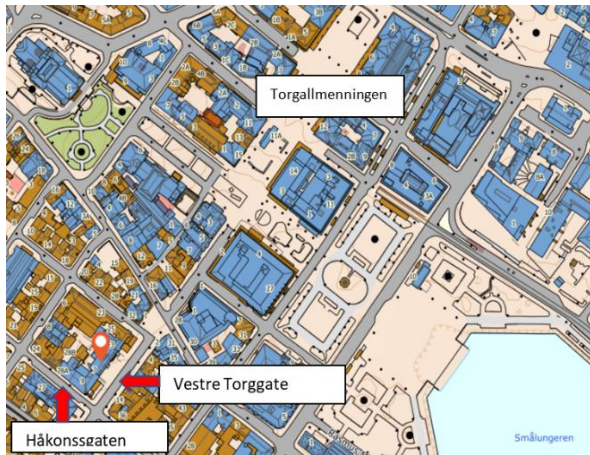
## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Introduksjon av området



Figur 2: Oversikt over området, kilde: (Bergenskart, u.d.).

Bygningene som går under navnet Castbergkvartalet ligger i *Vestre Torggaten* 5, 7 og 9, og i *Håkonsgaten* 28A og B. Dette er et sentralt område i Bergen sentrum, som illustrert på Figur 3. Figur 4 viser nærområdet illustrert i et nærmere bilde av adressene.



Figur 3: Området rundt Castbergkvartalet, kilde; (Bergenskart, u.d.)



Figur 4: Adressene som går under Castbergkvartalet og nærområdet, Kilde; (Bergenskart, u.d.)

### 2.1.1 Topografisk og klimatiske forhold

Planområdet ligger på et relativt jevnt område. Byggene ligger i kystnære Bergen, som kjennetegnes av store topografiske variasjoner som kan føre til lokale variasjoner i nedbørsmengde og intensitet (Bergenbyarkiv, 2009).

Nedbøren i Bergen blir målt og observert både på Sandsli og Florida i Bergen sentrum (Geofysisk institutt (UIB), u.d.). Fra *Castbergkvartalet* ligger nærmeste offisielle målestasjon for avlesning av IVF-kurver på Florida.

### 2.1.2 Grunnforhold og infiltrasjonsevne

Grunnforholdene i området er viktig å ta i betraktning når man skal håndtere overvann i et område. For et område med gode grunnforhold og god filtrasjonsevne vil mye av vannet infiltreres i bakken. I områder med vanskeligere grunnforhold eller der grunnen er mett, for eksempel på tette flater i bebygde områder, vil vannet renne på overflaten. Dette kan også forekomme om nedbørintensiteten overskride infiltrasjonskapasiteten ned i grunnen.

*Norges Geologiske Undersøkelse* (NGU) har database med kart som beskriver Norges grunnforhold etter ønsket geografisk delt område, som blant annet berggrunn, løse masser og mineralske ressurser (Norges Geologiske Undersøkelse, u.d.).



Figur 5: Oversikt over berggrunn i området, Kilde: (Norges Geologiske Undersøkelse, u.d.)

Grunnforholdene på tomten består av tette masser slik som kvartsitt i bunn, som vist i Figur 5, og deretter grus og asfalt. Kvartsitt er en særdeles hard bergart som består av omdannet kvartsandstein, og har dermed begrenset infiltrasjonsevne (Norges Geologiske Undersøkelse, u.d.). Gatene rundt tomten er laget av brostein. Ettersom det øverste laget i bakgården er grus, som i prinsippet er godt egnet til infiltrasjon, antas det god infiltrasjonsevne på tomten før utbygging (VA/Miljøblad, Overflateinfiltrasjon, 2009). Dette ble observert på en befaring av området, og ble bekreftet av prosjektleder. Det ble også ytret av prosjektleder at det ikke tidligere har vært noe kjent overvannsproblematikk på tomten.

Vannet som renner fra taket, blir i dag ført ned gjennom taknedløp og deretter ned i bakken. Etter videre samtaler med prosjektleder var det ikke undersøkt hvor disse taknedløpene førte. Det antas derfor at kun nedbør som treffer direkte på bakken i bakgården blir infiltrert ned i grunnen, og nedbør som treffer det nåværende taket blir ført ned til en foreløpig ukjent destinasjon.

## 2.2 Kartlegging av VA situasjon

### 2.2.1 Eksisterende rør i området

De eksisterende overvannsledningene som går i området rundt *Castbergkvartalet* er kommunale. Overvannledningen i *Vestre Torggaten* ble anlagt i 2004 med en dimensjon på 500 mm. Overvannledningen i *Håkongsgaten* ble anlagt i 2005 med en dimensjon på 400 mm. Begge overvannledningen er laget av betong. (Bergenskart, u.d.). Ledningene mottar overvann fra oppstrøms og omkringliggende bebyggelse. Den svarte stiplede stripen på Figur 6 representerer





## 2.2.2 Nedbørsfelt



Figur 7: Blått merke viser det begrensede området som er en del av det lille nedbørsfeltet. Kilde: (Bergenskart, u.d.)

Et nedbørsfelt er et område der all avrenning føres til samme vassdrag, innsjø eller fjord (Heggstad, 2023). Figur 7 viser at *Castbergkvartalet* ligger innenfor et lite nedbørsfelt som strekker seg fra den sørlige delen av *Teatergaten*, og ned til *St. Pauls kirke*. Dette betyr at nedbørsfeltet er lite variert, og består hovedsakelig av en bykjerne med dårlig infiltrasjonsevne og overflateavrenning.

## 2.2.3 Avrenningsmønster, flomutsatte områder og flomveier

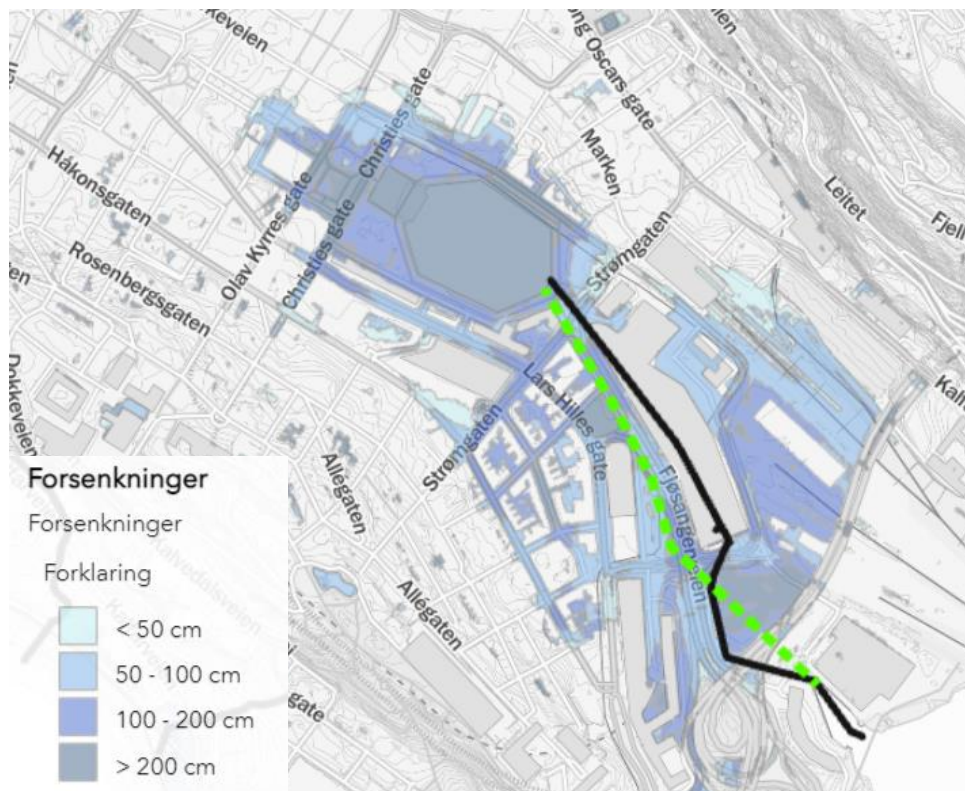


Figur 8: Avrenningslinjer og Aktsomhetszone for flom. De røde linje viser avrenningslinjene, mens det blå området viser aktsomhetssonen for flom. Kilde: (Bergenskart, u.d.)



Figur 8 viser avrenningsmønsteret i området (røde linjer) og aktsomhetssonen for flom (blått området). Avrenningslinjene viser vannets vei på overflaten ved ekstreme avrenningshendelser, der det normale avrenningssystemet, som for eksempel rør og bekkeløp, ikke har tilstrekkelig kapasitet (Bergenskart, u.d.). Ifølge avrenningslinjene representerer *Vestre Torggate* små avrenningslinjer som renner videre ned mot *Håkonsgaten*. *Håkonsgaten* representerer en stor avrenningslinje, og vannet som samles her føres videre nedover gaten som følge av helningen, og deretter føres vannet videre ut til *Lille Lungegårdsvannet*.

*Lille Lungegårdsvann* er aktsomhetszone for flom. Området rundt *Lille Lungegårdsvann* består av en god del forsenkninger som strekker seg rundt selve vannet hele veien bort til *Olav Kyrres gate* og *Torggaten*. Forsenkninger er et lavpunkt i terrenget der områder vil måtte oversvømmes for at vannet kan renne videre på overflaten. Dette kan oppstå dersom et sluk eller en naturlig infiltrasjon oversvømmes eller ikke fungerer som de burde. De blå områdene på Figur 9 viser forsenkninger i terrenget. Blåfargen varierer med tanke på dybde på forsenkningsområdene, der en mørk blå farge illustrerer dypere forsenkning.



Figur 9: Viser forsenkninger, åpne vassdrag og lukkede vassdrag. Kilde: (Bergenskart, u.d.)

Figur 9 illustrerer et lukket- og et åpent vassdrag som går fra *Lille Lungegårdsvann* og ut i *Store Lungegårdsvann*, som er sjø. Det lukkede vassdraget er den svarte linjen på Figur 9, og viser de største overvannsrørene og kulvertene i kommunen. Den grønne linjen representerer et mulig åpent vassdrag mellom *Lille-* og *Store Lungegårdsvann*. Dette er en strekning der kommunen har vurdert at

det kunne vært aktuelt å reetablere åpent vassdrag. Både det åpne- og lukkede vassdraget fører vannet fra *Lille Lungegårdsvann* til *Store Lungegårdsvann*. (Bergenskart, u.d.).

#### 2.2.4 Flomveg og kartlegging

Overvann fra området *Castbergkvartalet* føres til sjøen gjennom et lukket rørsystem. Det er flere flomveier som går på tvers av dette planområdet. Dersom rørsystemet ikke har tilstrekkelig kapasitet vil gater og veier fungere som flomveier som følger området avrenningsmønster. Overvannet vil dermed samle seg rundt *Lille Lungegårdsvann*, og deretter føres videre til *Store Lungegårdsvann* i et lukket vassdrag, som illustrert på figurene ovenfor.

## 3 Rammetillatelse og lovverk

### 3.1 Rammetillatelsen

I forhold til rammetillatelsen som ble tilsendt av *Brødrene Ulveseth*, har følgende endringer blitt godkjent angående renoeringen av *Vestre Torggaten 5, 7 og 9*, og *Håkonsgaten 28A og B*. Den gjeldende rammetillatelsen ble godkjent i januar 2023.

- 1 Arealformålet endres fra hotell til kontor i plan 3 til 5 for *Vestre Torggaten 5 og 7* (gnr. 164, bnr 1068), i plan 2 til 5 for *Vestre Torggate 9* (gnr 164, bnr 1071), og *Håkonsgaten 28A* (gnr 164, bnr 784). Arealformålet i *Håkonsgaten 28B* (gnr 164, bnr 1375) endres fra bolig til kontor i plan 1 til 4. Arealformålet i plan 5 for både *Vestre Torggaten 9* og *Håkonsgaten 28A*, skal endres fra hotell til bolig.
- 2 Det vil skje enkelte fasadeendringer, hvor blant annet de mindre takvindueene vil bli omgjort til større vinduer, og den eksisterende fasaden mot *Vestre Torggate* vil bli rehabilitert. Vindueene i plan 4 vil også skjæres ned ca. 20 cm, på grunn av utbedring av den innvendige brystningshøyden.
- 3 Mot *Vestre Torggate* vil det bli uteservering i form av et tilbygg.
- 4 Modifikasjoner av det eksisterende takoppbygget, som følge av det visuelle uttrykket.
- 5 Andre øvrige endringer slik som at den felles bakgården vil overbygges for å etablere atrium, samt etablere trapper som følge av atriet, en 42 m<sup>2</sup> takterrasse for leietakere i kontoretasjen, og oppgradering av eksisterende fasader med detaljer og ny fargesetting.

Tiltaket ble gitt med positiv tilbakemelding i forhold til byromsfaglige forhold. Blant annet vil uteoppholdsarealet til byggene vil få en mer åpen utforming enn dagens situasjon. Det var i tillegg positivt at kantsone i sør vil bli opparbeidet med beplantning og benker til offentlige formål. Disse endringene vil ha en positiv innvirkning på byggets og området utseende.

Videre godkjennes glasstakets maksimale mønehøyde over atriet på kote 20,9 meter etter *jf. Plan- og bygningsloven §29-4* og gjeldende kommuneplandel.

### 3.2 Lover og regler for overvannshåndtering

For å gjennomføre en rehabilitering av et eldre bygg, slik som Castbergkvartalet, må enkelte lover og regler må følges. Lover og regler som omhandler overvannshåndtering er mest relevant, spesielt *Plan- og bygningsloven*. Men også *Kulturminneloven* har hatt stor innvirkning på tiltaket.

#### 3.2.1 Retningslinjer i Bergen kommune og Plan- og bygningsloven

Retningslinjene for overvannshåndtering i Bergen kommune sier at overvann i størst mulig grad skal tas hånd om ved kilden, slik at vannbalansen opprettholdes tilnærmet lik naturtilstanden (Bergen kommune, 2005). *Plan- og bygningsloven § 28-10* omhandler mye av det samme, og sier at håndtering av overvann for byggesaker i størst mulig grad skal håndteres på eiendommen (Lovdata, 2022).

#### 3.2.2 Vernet bygning

Bergen har mange kulturminner og historiske bygninger det er viktig å ta vare på. Dette for å bevare og videreføre vår kulturarv til kommende generasjoner. Rehabilitering av slike bygninger kan imidlertid være utfordrende, spesielt når det kommer til å opprettholde den opprinnelige arkitektoniske stilen og helhetsuttrykket. (Regjeringen, 2021).

Castbergkvartalet er et kulturminne, hvilket betyr at eventuelle endringer eller utvidelser må gjøres på en måte som ikke påvirker fasaden eller helhetsuttrykket på noen måte. I dette tilfellet omfatter dette å legge til nye strukturer og utvidelser som er skjult bak eksisterende vegger, og ved å integrere nye elementer på en måte som er harmonisk med den opprinnelige arkitekturen. (Lovdata, 1992).

En annen utfordring med rehabilitering av verneverdige bygninger er å finne riktig balanse mellom opprettholdelse av den historiske verdien, og det å tilpasses bygningen til moderne behov. Her kan det bli gjort unntak fra *kulturminneloven*, samt andre relevante lover som *plan- og bygningsloven*, for å finne en balanse. Dette kan for eksempel være å erstatte eller å oppgradere strukturelle elementer som er i dårlig stand, mens man samtidig tar hensyn til de opprinnelige materialene og teknikkene som ble brukt under opprinnelig bygging. I tilfellet Castbergkvartalet har det blitt gjort ett par unntak fra *kulturminneloven* og *plan- og bygningsloven* når det gjelder akkurat dette. Et eksempel er vinduene på det opprinnelige taket som skal erstattes med større vinduer for å samsvare med lyskravene i TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, u.d.)

### 3.3 Tidligere avslag på rammetillatelser

Det har vært en del utfordringer når det kommer til godkjenning av rammetillatelse i dette prosjektet. Et av arkitektens forslag gikk ut på å heve taket over atriet som skal bygges, slik at man kunne installert et fordrøyningsbasseng på taket. En slik installasjon på taket ville vært et innovativt og praktisk tiltak for håndtering av overvann på tomten. Selv om fordrøyningsbassenget ville vært en del lavere enn takene rundt, ble forslaget ikke godkjent av kommunen, på grunn av for stor påvirkning av helheten til fasaden. I hovedsak omhandlet dette overskridelse av maksimal mønehøyde slik at det ville blitt synlig fra utsiden.

## 4. Teori

### 4.1 overvann

Overvann er vann som renner av på overflaten, som følge av regn og smeltevann (Miljødirektoratet, u.d.). Dersom regnvann ikke blir fullstendig tatt opp av vegetasjon eller jord, eller ført videre i et avløpssystem, vil det resultere i overflateavrenning (Bergenskart, u.d.). Overflateavrenning kan videre føre til store skader på omgivelsene og økosystemet. Det kan også inneholde ulike typer forurensninger, som kan skade vannressursene og økosystemet (Miljødirektoratet, u.d.).

#### 4.1.1. Overvannshåndtering i tettbebygde strøk

I tettbebygde byer, slik som Bergen, er det mye konvensjonelle tak og tette overflater. Dette betyr at regnvannet ikke har noen naturlig vei å renne vekk, og samler seg opp i enkelte områder. Hvis regnvannet blir konsentrert i enkelte områder, kan dette føre til overbelastning på VA-nettverket. Dersom VA-nettverket ikke har kapasitet nok til å filtrere bort alt vannet, vil det resultere i overflateavrenning og eventuelt flom. (NOU, 2015: 16, s. 16).

I byer med kraftig nedbør, slik som i Bergen, er overvannshåndtering et viktig tema. I Bergen sentrum er dagens metode at overflødig overvann til dels filtreres ned i grunnen, og resterende overvann renner til nærmeste åpne fordøyingsystem, slik som Lille Lungegårdsvannet. Dette er ikke en bærekraftig løsning, og Bergen kommune utvikler aktuelle tiltak for å sikre en fremtidsrettet løsning. I byer med kraftig nedbør, slik som i Bergen, er overvannshåndtering et viktig tema. I Bergen sentrum er dagens metode at overflødig overvann til dels filtreres ned i grunnen, og resterende overvann renner til nærmeste åpne fordøyingsystem, slik som Lille Lungegårdsvannet. Dette er ikke en bærekraftig løsning, og Bergen kommune utvikler aktuelle tiltak for å sikre en fremtidsrettet løsning. (Bergen kommune, 2005).

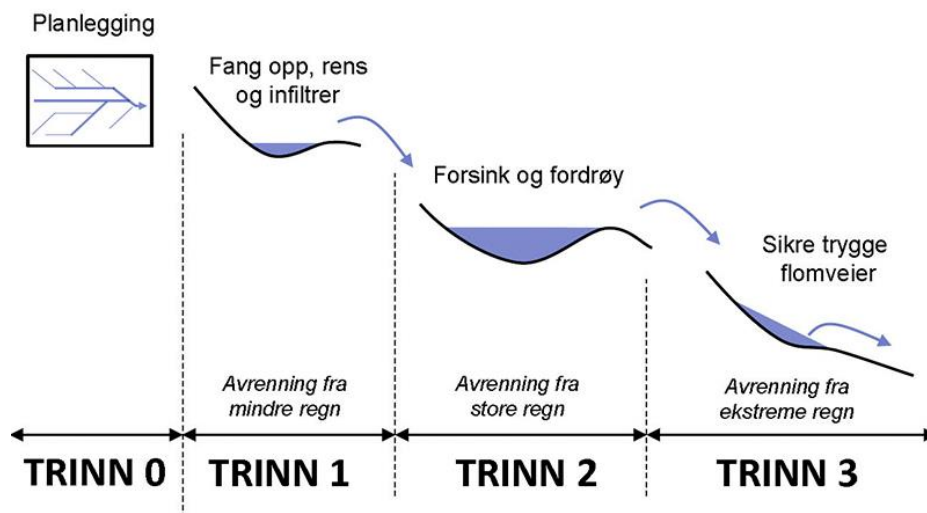
#### 4.1.2 Tretrinnsstrategien

Tretrinnsstrategien har blitt utviklet som en strategi for bærekraftig håndtering av overvann i byområder (Fremstad, 2021). *Norsk vann* anbefaler at overvannshåndtering gjøres i tråd med tretrinnsstrategien for å oppnå en bærekraftig og mer klimatilpasset håndtering av overvann. Ved å benytte tretrinnsstrategien kan overvannsproblematikken reduseres eller fjernes helt uten å måtte investere i kostbare ledningsnett (Paus, 2018). Trinnene omhandler ulike tiltak innen LOH. Strategien for LOH omhandler infiltrasjon, fordrøyning og trygg avledning på det lokale området (Bergen kommune, 2005, s. 19). Trinnene er differensiert etter nedbørsmengden i området, og kan implementeres på ulike nivåer i et urbant system.

*Trinn 1* har som formål å redusere hastigheten på vannstrømmen ved nedbørsmengder under 20 mm per regnhendelse, uavhengig av tid. Dette blir gjort ved enten å absorbere eller fordampe vannet (Paus, 2018). For både nybygg og renoverte bygg kan trinn 1 oppnås ved for eksempel å implementere grønne tak, regnbed eller andre løsninger som forbedrer overflatens permeabilitet. Overflateavrenningen som ikke blir infiltrert i trinn 1, vil gå videre til trinn 2.

*Trinn 2* fokuserer på å redusere overflateavrenningen ved å la vannet infiltrere ned i jorden, før det ledes videre til vassdrag eller ledningsnett (Paus, 2018). Dette gjelder for større mengder med regn på mellom 20 og 40 mm. Ofte skilles det mellom åpne- og lukkede fordrøyningssystemer. Åpne fordrøyningssystemer kan blant annet være fordrøyingsbasseng, vannspeil eller bekker, og lukkede kan for eksempel være steinfyllinger.

*Trinn 3* omhandler ekstreme regnhendelser og hvordan overvannet skal ledes gjennom åpne og trygge flomveier uten å gi materielle skader, eller føre til fare på liv og helse (Bergen kommune, 2019). Dette trinnet gjelder for regnmengder på over 40 mm. (Paus, 2018).



Figur 10: Tretrinnstrategien. Kilde: (VA forum, u.d.)

Det har i senere tid blitt presentert et tilleggstrinn, nærmere bestemt *trinn 0*, som handler om planlegging og vurdering. Dette trinnet ble til som følge av utfordringer med å håndtere overvann etter tretrinnregelen, dersom avgjørende informasjon ble oppdaget for sent. Trinn 0 identifiserer eventuelle eksisterende problemer med overvannshåndteringen i tidlig fase, både etter lokale forhold og forventede klimaendringer. (Paus, 2018).

## 4.2 Overvannshåndtering på tak

Det finnes i dag et variert tilbud av effektive metoder for overvannshåndtering som går ut på å fordrøye overvann på taket. På konvensjonelle tak renner vann som treffer taket direkte ned til grunn og ledningsnett (NOU, 2015: 16, s. 65). Det å håndtere overvannet allerede på taket er en arealeffektiv metode for LOH, og egner seg derfor godt i tettbebygde strøk (Byggforskserien, 2012).

### 4.2.1 Grønne tak

Bruken av grønne tak har de siste årene hatt en økning, som følge av klimaendringer og økt urbanisering (Johannessen, Muthanna, & Braskerud, 2018). Grønne tak defineres som tak som er dekket av vegetasjon, og bidrar i tretrinnstrategien ved å fordrøye vann på taket. I tillegg gjenoppretter grønne tak tapt grøntareal i byer, og bidrar dermed også med forbedring av økosystemer i urbane områder. (Paus, 2018).





Figur 11: Bildet viser bygninger med grønne tak på Løkkeveien i Stavanger. Kilde: (Aftenbladet, 2021).

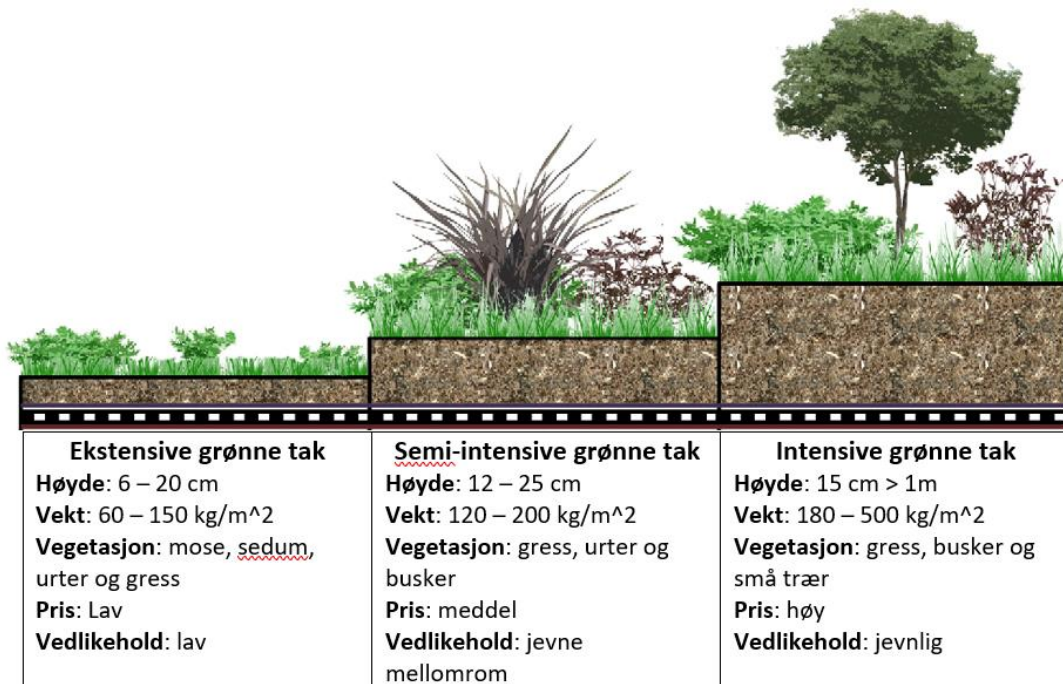
Grønne tak er mest effektive ved små til mellomstore regnhendelser, som inntreffer innenfor et begrenset tidsintervall (Berghage, 2009, ss. 2-1). Dersom det inntreffer ekstremt store nedbørsmengder eller regner over en lengre tidsperiode, vil det grønne taket bli mettet og ikke kunne holde på ytterligere vannmengder. Overskuddsnedbør blir ført videre ned i takrenner og deretter ut i ledningsnett eller grunn. For å unngå at det grønne taket skal bli mettet for tidlig, er det nødvendig å tilpasse det etter området det befinner seg i. Videre ble det fastsatt i en rapport utarbeidet av NVE at grønne tak har en betydelig bedre evne til å holde på vann om sommeren, sammenlignet med vinteren (Braskerud B. C., 2014, s. 6).

#### 4.2.1.1 Ulike typer grønne tak

Det skiller mellom tre ulike typer grønne tak: intensive-, semi-intensive- og ekstensive grønne tak. De forskjellige typene er kategorisert etter tykkelsen av vekstmediet, variasjon av planter, vedlikehold og vannbehov. Figur 12 viser noe informasjon om de ulike typene grønne tak.

- *Intensive grønne tak* er typen med det tykkeste laget, og består av et tykt og tungt vekstlag som ofte inkluderer trær og busker. Denne type tak er best egnet for bygninger med sterke takkonstruksjoner og høy lastekapasitet. (Noreng, 2012, s. 16).
- *Semi-intensive grønne tak* har en moderat tykkelse og varierer i utformingen og plantevalget. Denne typen grønt tak har mindre tykkelse enn Intensive grønne tak, men er tykkere utformet enn ekstensive grønne tak. (Noreng, 2012, s. 16).

- *Ekstensiv grønne tak* har det tynneste laget av vekstmedium. Denne typen krever minimalt vedlikehold og vanning. Det vil si gjødsling 1-2 ganger i året. Typiske plantearter innenfor sukkulenter og moser blir brukt. Ekstensiv grønne tak har også en lavere vekt enn de to andre typene, og er dermed enklere å konstruere på norske bygninger. (Noreng, 2012, s. 16).



Figur 12: Figuren illustrerer de tre ulike type grønne tak. Ekstensiv grønne tak (venstre), semi-intensive grønne tak (midten) og intensiv grønne tak (høyre). Kilde: (ResearchGate, u.d.)

Det er ekstensive grønne tak som er mest brukt i Norge. Det er fordi plantene som brukes der er tilpasningsdyktige og kan håndtere varierende klimaforhold. Plantene har i tillegg evnen til å holde på vann over en forholdsvis lang tidsperiode, og de kan tåle lengre tørkeperioder sammenlignet med de fleste andre vegetasjonsarter. Plantene i ekstensive grønne tak krever også mindre vedlikehold enn de to andre typene. (Braskerud B. C., 2016).

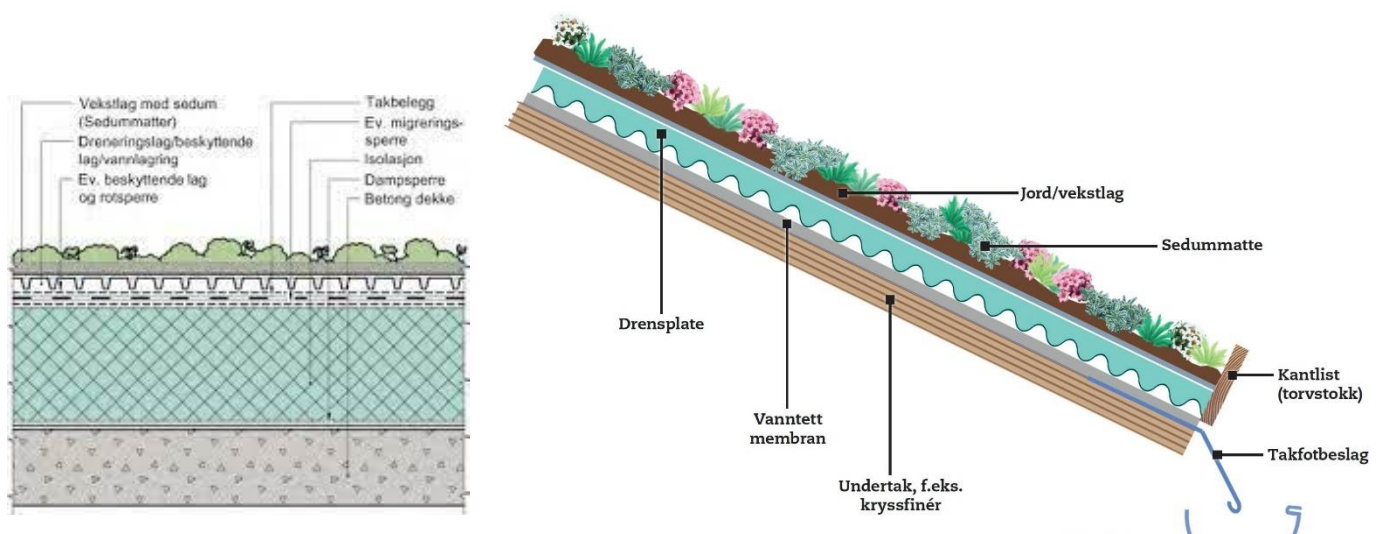
Typiske planter som brukes i ekstensive grønne tak er moser, bergknapp (sedum), ulike urter og gress. I Norge er sedum mest brukt, og blir ofte omtalt som sedumtak (Protan, u.d.). Ekstensiv grønne tak blir enten lagt ut i ferdige matter eller sådd i et utlagt vekstmedium på stedet (VA/Miljøblad, Grønne tak, 2013). Det vanligste er å benytte seg av ferdige matter, der plantene kan vokse og utvikle seg. Det viktig at røttene til plantene er korte og i tillegg har evnen til å spre seg slik at de kan danne ett begrodd nettverk av rotsystem (Noreng, 2012, s. 35).

#### 4.2.1.2 Oppbygning av sedumtak

Oppbyggingen til grønne tak består vanligvis av flere lag som beskytter plantenes røtter mot regnvann. Det er noe forskjellig oppbygging for sedumtak på skrå- og flate tak. Oppbyggingen

avhenger også av leverandør, da noen av lagene er valgfrie. En typisk oppbygging av grønne tak er vist på Figur 13.

Det nederste laget er et undertak, etterfulgt av en vanntett takmembran som beskytter takkonstruksjonen slik at vann eller røtter ikke trenger inn. Dersom det oppstår skade på takmembranen kan dette medføre lekkasje, og videre resultere i skade på konstruksjonen. I tillegg vil dårlig drenering av overvann påvirke vegetasjonens levetid og trivsel. Det er derfor anbefalt å ha jevnlig inspeksjoner og regelmessig vedlikehold på taket, for å unngå slike skader og problemer (VA/Miljøblad, 2013).



Figur 13: Viser en generell oppbygging av sedumtak. Til venstre er oppbyggingen på et flatt tak illustrert, mens til høyre er oppbygging på et skråtak vist. Kilde: (Byggforskeren, 2012)

Neste lag er et dreneringslag for å sikre drenering av overflødig vann. Deretter kommer vegetasjon, separasjon, jord og diverse vekstvalg. Vekstlaget er ment for å gi gunstige forhold for plantevekst og rotutvikling. Den består vanligvis av en blanding av mineralske og organiske masser, som for eksempel leca, lavastein, pimpstein, grus, knust stein og diverse kunststoffer (VA/Miljøblad, Grønne tak, 2013). Disse materialene har et større porevolum enn vanlig jord, noe som gir bedre evne til å holde på store mengder vann og oksygen, samtidig som at totalvekten er lavere sammenliknet med tradisjonell jord. Vekstlaget gir vann og næring til plantene, og transporterer bort overflødig vann. (Standard, 2015, s. 12).

Tykkelsen på lagene varierer med tanke på faktorer slik som nedbørsmengde, dreneringssystemets effektivitet, konstruksjonens styrke og vektbegrensninger. For å unngå overbelastning av takets konstruksjon er det viktig å sikre at dreneringssystemet fungerer på en optimal måte. Dette vil variere avhengig av takets helning, lagtykkelse og vegetasjonslag. I motsetning til skråtak, har flate



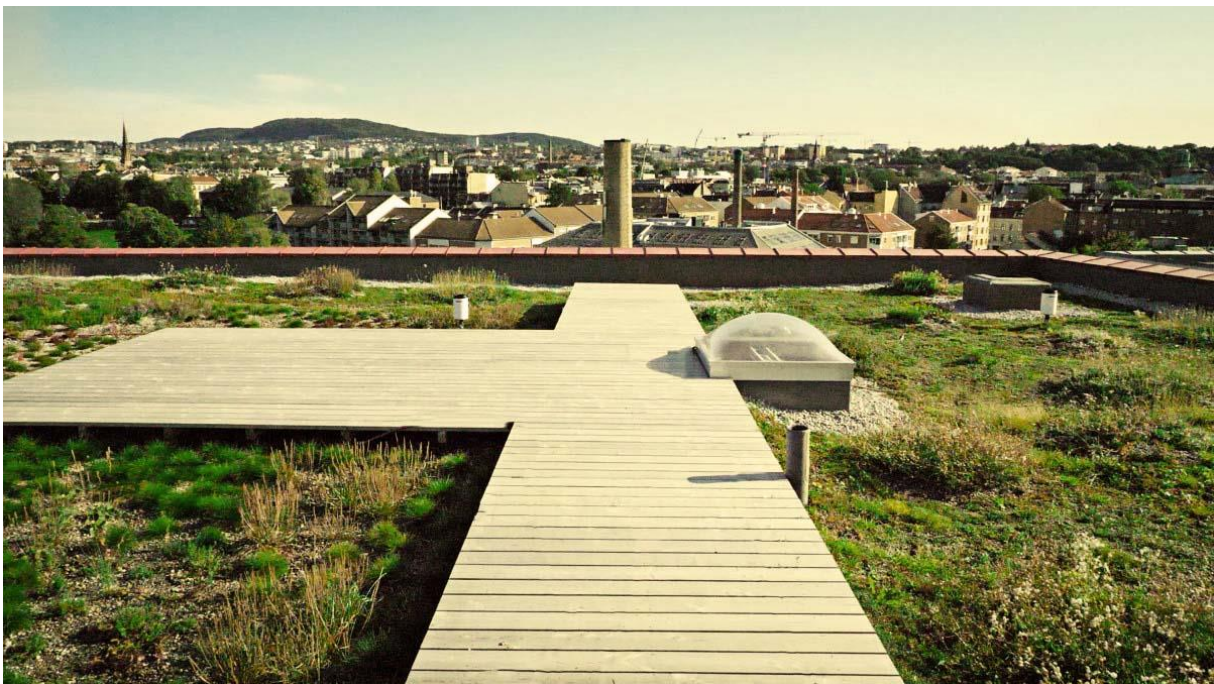
tak en tendens til å samle opp vann. For å forhindre vannansamling, som kan gjøre skade på plantene, må vannet ledes enten til sluk eller taknedløp. (Standard, 2015, s. 17).

#### 4.2.2 Blågrønne tak

Blågrønne tak er en kombinasjon av både grønne- og blå tak, nærmere bestemt et blått tak med vegetasjon på toppen. Ved å bruke vannet og taket som en ressurs, vil nødvendig overvannshåndtering forenes med et bidrag til biologisk mangfold. (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.).

Ved blågrønne tak monteres det, slik som ved blå tak, en restriktor i sluket slik at bare en begrenset mengde med vann vil renne til utløp, og resten magasineres ett par timer på taket. Taket er spesialdesignet for hvert enkelt tilfelle når det kommer til for eksempel kapasitet, mengde ut til ledningsnettet og andre dimensjonerende verdier. (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.).

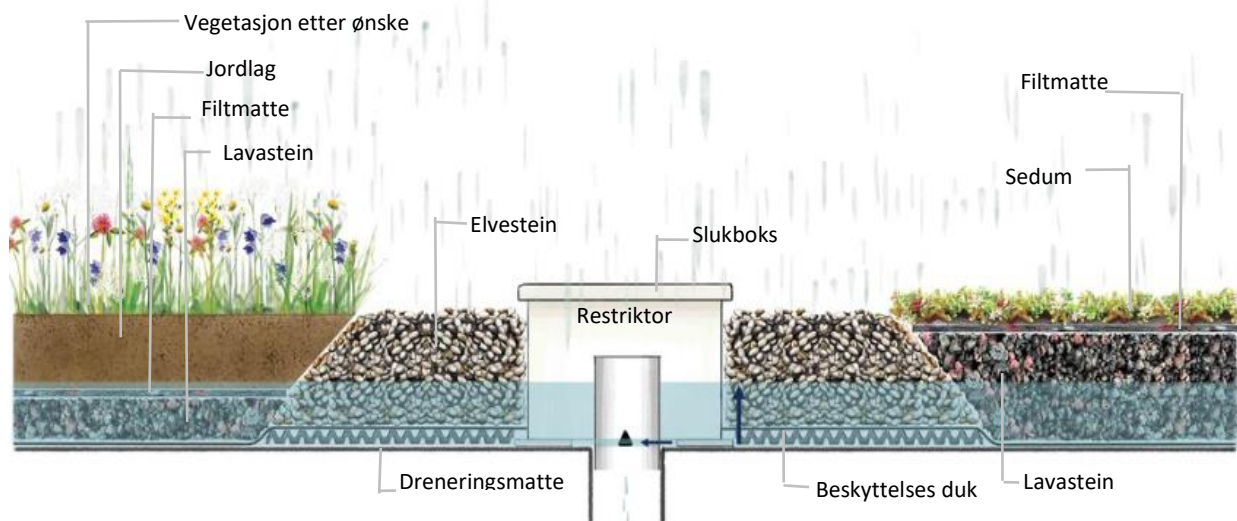
Blågrønne tak er et ganske nytt konsept, men målinger fra *Norges vassdrags- og energidirektorat* (NVE) tyder på en reduksjon av spissvannsføringen med 98%. Dette er en kostnadseffektiv løsning for overvannshåndtering, samtidig som at vannet blir en ressurs istedenfor et problem. (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.).



Figur 14: Norges første blågrønne tak på Vega Scene. Takløsningen er kalt BlueProof Green fra leverandøren Protan. Scene er for det meste beplantet med sedumvekster og endte opp med BREEAM-NOR klassifisering «very good». Kilde: (Protan, u.d.).

#### 4.2.2.1 Oppbyggingen av blågrønne tak

Figur 15 viser en generell oppbygging av et blågrønt tak. På den venstre siden av sluket illustreres en generell struktur for et blågrønt tak med en utvidet jorddybde. Dette indikerer at det er et semi-intensivt tak. På høyre side av sluket er det illustrert en generell oppbygging for blågrønt tak med sedum på toppen. Oppbyggingen fremstiller de vanligste komponentene som inngår i en blågrønn takstruktur, ettersom strukturen gjerne varierer mellom forskjellige leverandører. Oppbyggingen tar utgangspunkt i *Bergknapp* sin modell. (*Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.*)



Figur 15: Mulig oppbyggingen av et blågrønt tak. Kilde: (*Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.*)

En av de overordnede komponentene, som er konstant uavhengig om det øverste laget består av sedum eller annen vegetasjon, er beskyttelsesduken. Dette er det nederste laget, og blir lagt over takmembranen. Videre over beskyttelsesduken blir det vanligvis lagt lavastein eller andre steinmasser. Lavastein er godt egnet på tak som følge av den lave vekten. Som vist på Figur 15 varierer tykkelsen på dette laget etter vekstmediet som brukes på toppen. Etter laget med lavastein, blir det lagt en filtmatte, eller en separasjonsduk, som er en filtrasjonsbeskyttelse for å unngå sammenblanding av masser. (*Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.*)

Dersom en skal ha sedumtak, blir det lagt direkte over separasjonsduken. For en semi-intensiv oppbygging blir det først lagt et tykt jordlag over separasjonsduken. Dette kan være helt alminnelig jord, men ofte blir lettjord benyttet på tak på grunn av den lave vekten. Eksempelvis består lettjord fra leverandøren *Bergknapp* av 80% lavastein og 20% kompostjord (*Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.*). Videre ovenfor jordlaget legges det vegetasjon etter eget ønske.

Rundt sluket blir det lagt en dreneringsmatte helt i bunnen, under beskyttelsesduken. Over beskyttelsesduken blir det vanligvis lagt et tykt lag av elvestein, nesten hele veien opp til slukboksen.

Tykkelsen på blågrønne tak varierer, avhengig av planlagt vann-nivå. Vekten kan estimeres til ca 10 kg/cm pr m<sup>2</sup> når vannmettet. Det vil si at for hver cm i tykkelse kan taket ta opp 10 kg/m<sup>2</sup>.

(Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.).

#### 4.2.3 Fordeler med grønne- og blågrønne tak

Fordelene med grønne- og blågrønne tak er mange, det er både estetisk og funksjonelt. Blant annet reduserer takene overflateavrenninger av nedbør og dermed redusere belastningen på avløpsnett, som er spesielt hjelpsomt i urbane områder. Takene hjelper også til med å bevare økosystemer, og bidrar her til et godt bymiljø. (Hanslin & Johannessen, 2019).

Med tanke på urbanisering, kan grønne- og blågrønne tak absorbere svevestøv og fanger opp CO<sub>2</sub>, og dermed forbedre luftkvaliteten i området. Videre har grønne- og blågrønne tak en reduserende effekt på urbane varmeøyer. (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.). Dette vil si at urbaniserte områder, har en høyere temperatur enn områder utenfor byer (Miljødirektoratet, u.d.).

Vegetasjonen på grønne- og blågrønne tak har også en energisparende effekt, ettersom de absorberer mindre varme enn konvensjonelle tak. Dette bidrar til å kjøle ned bygninger på varme dager og isolere varme på kalde dager. Grønne tak bidrar i tillegg positivt på økosystemet ved å gi levested for insekter og små dyr, også i tettbebygde strøk. (Bergknapp - Sedum og grønne løsninger, u.d.).

#### 4.2.4 Ulemper med grønne- og blågrønne tak

Selv om det er mange fordeler med grønne- og blågrønne tak, er det også noen ulemper som det er viktig å ta i betraktning. Grønne- og blågrønne tak kan medføre høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader sammenlignet med konvensjonelle tak. Levetiden kan også være kortere dersom plantene skulle dø, om det skjer en svikt i vedlikehold eller prosjektering. Videre vil lastvirkningen på taket økte, og konstruksjonen må dimensjoneres for den økte lastvirkningen. Dersom taket ikke er dimensjonert korrekt, kan det føre til lekkasje eller skade på takkonstruksjonen. Nøyaktig plasseringen av lekkasjen kan være utfordrende å finne, med tanke på stor spredning i lekkasjeområdet. (Braskerud B. C., 2016).

Selv om det er mange fordeler med grønne- og blågrønne tak, er det også noen ulemper som det er viktig å ta i betraktning. Grønne- og blågrønne tak kan medføre høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader sammenlignet med konvensjonelle tak. Levetiden kan også være kortere dersom plantene skulle dø, om det skjer en svikt i vedlikehold eller prosjektering. Videre vil lastvirkningen på taket økte, og konstruksjonen må dimensjoneres for den økte lastvirkningen. Dersom taket ikke er dimensjonert korrekt, kan det føre til lekkasje eller skade på takkonstruksjonen.

Nøyaktig plasseringen av lekkasjen kan være utfordrende å finne, med tanke på stor spredning i lekkasjeområdet. (Braskerud B. C., 2016).

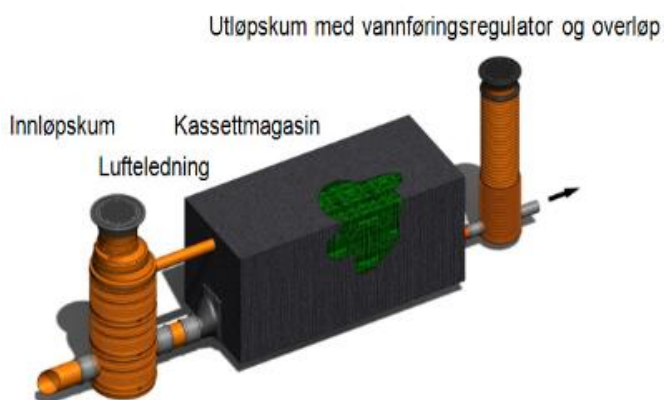
### 4.3 Overvannshåndtering i vannmagasin

Vannmagasin er en fordrøyningsmetode som omfatter både åpne- og lukkede løsninger. Dette kan for eksempel være våtmarker, vannspeil, innsjøer og nedgravde underjordiske magasiner. Eksempler på åpne magasiner i Bergen kommune er *Solheimsvannet* og *Tveitevannet*. Opprettholdelse av slike eksisterende innsjøer vil være viktig for å oppnå en tilfredsstillende overvannshåndtering, samtidig som det ivaretar naturen. (Bergen kommune, 2019, s. 33).

Installasjon av vannmagasin under bakken er den mest relevante typen av vannmagasin å ta i bruk i tettbebygde strøk, da arealet på eksisterende tomter vil bli utnyttet. Et vannmagasin under bakken vil verken kreve økning i tomteareal eller påvirke estetikken til bygningen. Overvannet ledes ned i kummer, sluker, rør og andre kanaler for å videreføres til magasinet under bakken, der vannet blir fordrøyd. (Byggforskserien, 2012).

#### 4.3.1 Oppbygging av vannmagasin under bakken

Et lukket vannmagasin er normalt sett bygget opp av enten plastkassetter, rørmagasiner, tanker, betong eller steinmagasin. Ved innløp er det installert et sandfang, eller en fiberduk, for å hindre at porene i magasinet tettes (Byggforskserien, 2012). Denne sandfangen må vedlikeholdes jevnlig så vannmagasinet ikke tettes, men opprettholder sin optimale funksjon.



Figur 16: Vannmagasin under bakken. Kilde: (VA/Miljøblad, 2012).

Kapasiteten til et lukket magasin avhenger av hvilket materiale som blir brukt. For eksempel vil plastkassetter ha en huleromsandel på 95%, imens et steinfyllt magasin vil ha en huleromsandel på 30-40%. (VA/Miljøblad, 2012).

## 5. BREEAM

BREEAM er et miljøsertifiseringsverktøy som brukes for å berge et byggs bærekraftige egenskaper, og er Europas eldste og ledende miljøsertifisering (BREAAM-NOR, 2019). Dette verktøyet har ti kategorier: «Ledelse», «helse- og innemiljø», «energi», «transport», «vann», «materialer», «avfall», «arealbruk og økologi», «forurensning» og «innovasjon». I hver kategori er det ulike emner med forskjellige kriterier, som angir hva som skal til for å samle poeng i det aktuelle emnet.

Bygget sertifiseres etter en skala med klassifiseringene «Pass», «Good», «Very Good», «Excellent» og «Outstanding». Klassifiseringen bygger på totalt oppnådde poeng i alle kategoriene. For å oppnå poeng i et emne, må minstekravet oppfylles.

De ulike kategoriene blir vektlagt forskjellig. Vektleggingen brukes til å bestemme de relevante verdiene av kategoriene og deres bidrag til en samlet poengsum (BREAAM-NOR, 2019, s. 22).

Sertifiserte bygg er ofte mer ettertraktet av kjøpere, der sertifiseringen bidrar til en høyere markedsverdi, høyere leieinntekter, større belegg, lavere driftskostnader, økt brukertilfredshet og redusert finansiell risiko (Grønn byggallianse, u.d.).

*Castbergkvartalet* ble vurdert i november 2021 etter BREEAM-NOR 2016. Den nyeste versjonen, BREEAM-NOR 2021, ble lansert i februar 2022. (BREEAM-NOR, 2022).

### 5.1 BREEAM-NOR 2016

#### 5.1.1 LE Arealbruk og økologi

Kategorien om arealbruk og økologi oppfordrer til bærekraftig arealbruk, habitatvern og opprettelse, samt bedring av langsiktig artsmangfold for byggets tomt og omkringliggende område. Kategorien vektlegges 10% og er delt inn i fem emner vist i Tabell 2 Målet er å gjenbruke tidligere utbygget areal, eller areal med lav økologisk verdi, og bedre økologi og langsiktig forvaltning av artsmangfold (BREAAM-NOR, 2019, s. 229).

Emne	Poeng	Formål	Vurderingskriterier
<b>Le 01</b> Valg av tomt	<b>3</b>	Oppfordre til bruk av tidligere utbygget areal og/ eller forurenset areal, og unngå areal som er urørt.	<ul style="list-style-type: none"><li>• (Opp mot 2 poeng) Arealet har tidligere vært utbygget til industri-, yrkes- eller boligformål. Baseres på prosentandel innenfor dette arealet.</li><li>• (1 poeng) Tomten regnes som vesentlig forurenset. Tomten må bekreftes at den skal ryddes i samsvar med tiltaksplan.</li></ul>



<b>Le 02</b> Økologisk risiko og muligheter	<b>2</b>	Oppfordre til utbygging på tomt som allerede har begrenset verdi for plante- og dyreliv, og beskytte eksisterende økologi mot vesentlig skade under klargjøring av tomt og gjennomføring av byggearbeid.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1 poeng) Økologisk verdi: Arealet klassifiseres som «areal med liten økologisk verdi».</li> <li>• (1 poeng) Økologisk vern: Eksisterende elementer med økologisk verdi som vil bli berørt er tilstrekkelig beskyttet under klargjøring av tomt og bygging.</li> </ul>
<b>LE 04</b> Forbedring av tomtens økologi	<b>3</b>	Anerkjenne og oppfordre til tiltak for å opprettholde tomtens økologiske verdi som følge av utbygging.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Totalt 1 poeng) Sakkyndig økolog fremlegger en økologirapport med anbefalinger for forbedring av økologi på tomten der mins 50% må gjennomføres.</li> <li>• (Totalt 2 poeng) Minst 75% av anbefalingene må gjennomføres.</li> <li>• (Totalt 3 poeng) Minst 95% av anbefalingene må gjennomføres.</li> </ul>
<b>LE 05</b> Langsiktig påvirkning på artsmangfold	<b>2</b>	Begrense utbyggingens langsiktige påvirkning på eiendommens og de omkringliggende områdenes artsmangfold.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Totalt 1 poeng) To av kriteriene under er oppfylt</li> <li>• (Totalt 2 Poeng) fire av kriteriene er oppfylt. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Forvaltning av alle bevarte elementer på tomten</li> <li>b) Forvaltning av alle nye, eksisterende eller forbedrende habitater,</li> <li>c) Henvisning til lovkrav på tomten angående vern av arter og habitater.</li> <li>d) Bekreftelse fra sakkyndig økolog på alle relevante aspekter ved økologien er i planen.</li> </ul> </li> </ul>
<b>LE 06</b> Klimatilpasning	<b>2</b>	Fremme mest mulig effektiv bruk av et byggs fotavtrykk ved å sikre at areal- og materialbruk er optimalt på hele tomten.	<i>Gjelder bare for boligbygg</i>

Tabell 2: Oversikt over emnene i LE Overvannshåndtering etter BREEAM-NOR 2016. Kilde: (BREEAM-NOR, 2019, s. 231)

### 5.1.2 Pol 03 Overvannshåndtering

Pol 03 overvannshåndtering går under kapittelet «Forurensning» i BREEAM manualen. Dette kapittelet omhandler forurensning, kontroll av forurensning, og overvannshåndtering med tanke på

byggets beliggenhet og bruk. Kapitlet vektlegges 8% av den totale scoren. (BREAAAM-NOR, 2019, s. 268).

Formålet med Pol 03 er å unngå, redusere eller forsinke avrenning av regnvann til offentlige avløpssystemer og vassdrag, og dermed begrense risikoen for lokal flom og annen miljøskade. Antall mulige poeng som kan oppnås i denne kategorien er 5 poeng. (BREAAAM-NOR, 2019, s. 268).

Antall tilgjengelige poeng	Minstekrav				
	P	G	VG	E	O
5	-	-	-	-	-

Tabell 3: Pol 03 Overvannshåndtering, poeng og minstekrav. Kilde: (BREAAAM-NOR, 2019, s. 268)

POL 03 Overvannshåndtering er delt inn i tre deler som gir poeng; flomrisiko (2 poeng), overvannshåndtering (2 poeng), og begrensning av vassdragsforurensning (1 poeng).

Vassdragsforurensning er ikke aktuelt og vil ikke bli vurdert videre.

#### 5.1.1.1 Flomrisiko

Maksimalt antall poeng deles dersom det aktuelle bygget befinner seg i et område med lav årlig sannsynlighet for flom. Ett poeng kan oppnås dersom bygget ligger i et område med middels eller høy sannsynlighet for flom. Dette må bekreftes av en hydrologikonsulent, og bekreftelsen må være basert på resultatene i en flomrisikoanalyse (FRA), som er spesifikk for eiendommen. Analysen skal ta hensyn til historiske, geologiske og geometrisk data, samt ta hensyn til faktorer som høyde og avrenning. Dersom byggets område har middels eller høy sannsynlighet for flom, må det bekreftes at bygget er tilstrekkelig flombeskyttet og motstandsdyktig, mot alle flomkilder. (BREAAAM-NOR, 2019, s. 268).

#### 5.1.1.2 Overvannshåndtering

Her kan et av poengene oppnås på vegne av maksimal avrenning. For at avrenning fra eiendommen skal tilsvare samme mengde som før utbygging, er det utarbeidet spesifiserte tiltak for å sikre maksimal avrenning fra eiendommen. Disse beregningene skal ta høyde for klimaendringer, og bør skje i samsvar med *Meteorologisk institutt*, for best mulig oppdatert informasjon om fremtidige IVF-kurver. Overvannshåndteringen på eiendommen skal analyseres og vurderes av en sakkyndig konsulent. (BREAAAM-NOR, 2019, s. 268).

Det neste poenget kan deles ut på vegne av avrenningsvolum. Poenget gis dersom avrenningsvolumet etter utbygging ikke er større enn det ville ha vært før utbygging. Forventet avrenningsmengde i fremtiden kan unngås ved naturbasert håndtering av overvann. Dersom det ikke er mulig på eiendommen, kan en sakkyndig konsulent utstede en begrunnelse på hvorfor ikke dette

kan oppnås. Deretter kan maksimal avrenning etter utbygging reduseres til en lavere grenseverdi. (BREAAAM-NOR, 2019, s. 268).

## 5.2 BREEAM-NOR 2021

I BREEAM-NOR 2021 har det blitt gjort enkelte endringer i de aktuelle og tidligere diskuterte emnene. I kapittelet om forurensning har Pol 03 overvannshåndtering blitt fjernet, og temaet *overvann* har blitt endret, og flyttet over til kapittelet *Arealbruk og økologi (LE)*. Tilsvarende emne heter LE 08 Håndtering av overvann, og er beskrevet i Tabell 4 (BREEAM-NOR, 2022, s. 2).

### 5.2.1 LE Arealbruk og økologi

Formålet med kapittel LE Arealbruk og Økologi er den samme som i 2016-versjonen, og vektlegges 15% for innredet og 17% for uinnredet bygg. Sammenliknet med 2016-versjonen, er det tre ekstra punkter under LE kapittelet; LE 03, LE 07 og LE 08. Noen av punktene beskrevet i 2016-versjonen har også blitt utvidet, forandret eller forbedret i den nye versjonen.

De forskjellige emnene i kapittelet er beskrevet i Tabell 4 er de emnene som tilsvarer samme som i BREEAM-NOR 2016, er utelatt;

Emne	Poeng	Formål	Kriterier
<b>LE 03</b> Håndtering av påvirkning på økologi	<b>3</b>	Unngå, eller så langt som mulig begrense, negativ økologisk påvirkning forbundet med utbyggingsområdet og influensområdet som skyldes prosjektet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1 poeng) Planlegging og tiltak på utbyggingsområdet.</li> <li>• (Opptil 2 poeng) håndtering av negativ påvirkning. Kriteriet over må være oppfylt.</li> </ul>
<b>LE 04</b> Økologisk endring og forbedring	<b>4</b>	Forebygge de økologiske kvalitetene på utbyggingsområdet for å understøtte lokale regionale og nasjonale prioriteringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1 poeng) Økologisk forbedring.</li> <li>• (Opptil 3 poeng) Beregning av endring i biologisk mangfold.</li> <li>• (1 poeng) Innovasjonspoeng: Betydelig netto forbedring av biodiversitet.</li> </ul>
<b>LE 05</b> Langsiktig økologisk forvaltning og vedlikehold	<b>2</b>	Sørge for løpende måling, forvaltning og opprettholdelse av utbyggingsområdet og dets habitater og økologiske funksjoner for å sikre at	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1 poeng) Forvaltning og vedlikehold under hele prosjektet.</li> <li>• (1 poeng) Forvaltningsplan for landskap og økologi.</li> </ul>

		ønskede resultater realiseres i et langsiktig perspektiv	
<b>LE 06</b> Klimatilpasning	<b>1</b>	Redusere eller eliminere påvirkninger fra eksisterende naturpåkjenninger på bygget. Minimere det fremtidige behovet for å tilpasse bygget til mer ekstreme værendringer som skyldes klimaendringer og forandringer i værmønstre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gjennomføre en vurdering for å finne riktig strategi for klimatilpasning ved å foreta en systematisk risikovurdering.</li> </ul>
<b>LE 07</b> Flom og stormflo	<b>2</b>	Forebygge skader på bygg og utbyggingsområdet, både i dag og ved fremtidige klimaendringer, gjennom vurdering av risiko flom og stormflo	<ul style="list-style-type: none"> <li>(Oppimot 2 poeng) Robusthet mot flom og stormflo. Middels/ høy risiko gir 1 poeng, høy risiko gir 2 poeng.</li> </ul>
<b>LE 08</b> Lokal håndtering av overvann	<b>3</b>	Unngå, redusere og forsinkeavrenning av nedbør til offentlige avløp og vassdrag, og dermed minimere risikoen for påvirkning på grunn av oversvømmelse på og utenfor utbyggingsområdet, samt forurensing av vassdrag og andre miljøskader. Inkluderer å ta hensyn til fremtidige klimaendringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1 poeng) Håndtering av 5 mm nedbør.</li> <li>(1 poeng) Hvis maksimal avrenningsmengde ikke er større etter, som det var før utbygging.</li> <li>(1 poeng) Tiltak for overflatebasert overvannshåndtering. Eks LOD.</li> <li>(1 poeng) Mønstergyldig nivå</li> </ul>

Tabell 4: Emnene i LE Overvannshåndtering etter BREEAM-NOR 6.0 2021 versjonen. Kilde: (BREEAM-NOR, 2022, s. 283)

### 5.3 Innovasjon

Innovasjonskategorien under BREEAM går ut på å gjøre det mulig å anerkjenne mønstergyldig nivå, og innovasjon som faller utenfor, eller som ikke inngår i de generelle poengkriteriene. Poengene deles ut innenfor ett eller flere av de allerede eksisterende emnene, for eksempel innenfor emnetitlene «økologisk forbedring» og «lokal håndtering av overvann».

Innovasjonskategorien omfatter innovative produkter og prosesser som må godkjennes av *Grønn Byggallianse* for å oppnå innovasjonspoeng. Her kan det totalt sett oppnås ti poeng. Dette er noe *Grønn Byggallianse* oppfordrer til, ettersom det bidrar til nytenking i bransjen. Det må utføres en vurdering av en kvalifisert fagperson innenfor de ulike delene. Det er vanskelig å forutsi hvilke innovasjonspoeng som er mulig å oppnå i et prosjekt, før en slik vurdering har blitt utført. (BREEAM-NOR, 2022, s. 367).

Den nyeste versjonen, BREEAM-NOR 2021, inneholder 14 forskjellige emner, der det kan oppnås ett eller to innovasjonspoeng i hvert emne. I BREEAM-NOR v1.2 er det bare er ni forskjellige emner. Dermed gir 2021-versjoenn mer rom for valg av innovasjonsløsning, ettersom begge versjonene maksimalt tilbyr ti poeng.

## 6. Metode

Det har vært hensiktsmessig å ta i bruk kvalitative metoder i dette prosjektet. For innhenting av informasjon om prosjektet, ble det utført både møter og befaring i samarbeid med *Brødrene Ulveseth*. Ved klassifisering av området *Castbergkvartalet*, har det blitt brukt ulike databaser, programmer og karttjenester. Overvannssituasjonen har vært sentral å kartlegge, og det ble brukt et par dataprogrammer for å fastsette dette. For å finne strømningslinjene til overvannet i området, ble *Scalgo Live* benyttet. Videre ble en SOSI-fil av VA-nettverket tilsendt fra Bergen kommune. Denne ble importert og behandlet i *Novapoint* for å finne resipienten.

For ytterlig informasjon ble det gjennomført møter i samarbeid med ulike leverandører for grønne- og blågrønne tak. I tillegg har det blitt hentet data, målinger og informasjon fra eksisterende nettsider, rapporter og *StreamBIM*-modellen til *Castbergkvartalet*. Flere av bildene er hentet fra dokumenter gitt av *Brødrene Ulvesth*, og modellen i *StreamBIM*.

Beregningene er utført etter norske standarder, tabeller og manualer. Standarder som er benyttet ved dimensjonering av både overvann og konstruksjon er vist i Tabell 5

STANDARD	OMHANDLER
NS-EN 1990:2002+NA:2008	Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS-EN 1991-1-1-1:2002+NA:2008	Allmenne laster
NS-EN 1991-1-1-3:2003+A1:2005+NA:2009	Snølaststandard
NS-EN 1992-1-1-2005+NA:2009	Vindlast
NS-EN 14080:2013+NA:2016	Trekonstruksjoner – Limtre og limt laminert heltre
NS 3840:2015	Grønne tak – Planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drive ekstensive tak
NS-EN 14081-1:2016+A1:2019	Trekonstruksjoner – Styrkesortert konstruksjonstrevirke med rektangulær tverrsnitt-Del 1
NS 3845:2020	Blågrønn faktor Beregningsmetode og vektingsfaktorer

Tabell 5: Oversikt over standarder brukt

## 6.1 Rasjonelle metode

Den rasjonelle metoden blir benyttet for å beregne dimensjonerende overvannsmengder for små nedbørsfelt under 50 ha (Bergen kommune, 2005, s. 12). Formelen avhenger av nedbørsfelt, avrenningskoeffisient og den gjennomsnittlige nedbørintensiteten.

*Rasjonelle formel:*

$$Q = \varphi \cdot A \cdot I \cdot K_f$$

*Formel 1: Den rasjonelle formel*

*Q*: Regnavrenningsfaktor (l/s)

*φ*: Avrenningskoeffisient

*A*: Nedbørsfeltets areal (ha)

*I*: Nedbørintensiteten (l/s\*ha)

*K<sub>f</sub>*: Klimafaktor

Den rasjonelle formel finner regnavrenningsfaktoren i l/s for det aktuelle området, slik som vist i Formel 1. Avrenningskoeffisienten representerer forholdet mellom nedbøren som faller på et område, og avrenningen som skyldes dreneringsevnen til overflaten (Bergen kommune, 2015, s. 13). Denne indikerer hvor mye av nedbøren som kan forventes å resultere i avrenning, og velges på bakgrunn av materialet overflaten er bygd opp av. Ved valg av avrenningskoeffisient på glasstaket, det konvensjonelle taket og sedumtaket, ble ulike tabeller og artikler sammenliknet. En typisk avrenningskoeffisient for blågrønne tak ble oppgitt av leverandøren *Bergknapp*.

Størrelsen på arealet av det konvensjonelle taket og bakgården er hentet ut fra oppmålinger i *StreamBim*. Arealet av sedumtaket på tak A, ble estimert ved å halvere arealet på begge sider av glasstaket. Arealet av det blågrønne taket ble beregnet ved overslagsberegninger vist i Vedlegg 1.

Nedbørintensiteten beskriver hvor mye nedbør som faller på et bestemt sted, per tidsenhet, og illustreres ved en IVF-kurve. Den nærmeste målestasjonen til *Castbergkvartalet* ligger på *Florida* i *Bergen*. IVF- kurven brukt i beregningene er derfor hentet fra denne målestasjonen. For å lese av nedbørintensiteten fra IVF-kurven, må det velges en regnvarighet.

*Castbergkvartalet* er et forholdsvis lite område, og i den rasjonelle metoden kan derfor regnvarigheten settes lik konsentrasjonstiden. Konsentrasjonstiden er tiden overvannet bruker til nærmeste sluk, og kan settes mellom 3 til 15 minutter for områder mindre enn 50ha (Bergen kommune, 2005, s. 13). På grunnlag av dette ble det utført fire beregninger med den rasjonelle formelen, med ulike konsentrasjonsider på 3, 5, 10 og 15 minutter (Norsk Klimaservicesenter, u.d.).

En IVF-kurve er sammensatt av flere kurver på bakgrunn av hyppigheten av nedbøren, eller gjentaksintervallet i et område (Bergen kommune, 2005, s. 16). Gjentaksintervallet blir fastsatt etter en tabell, der valget avhenger av området, og viser hvor mange år løsningen skal dimensjoneres for (Bergen kommune, 2005, s. 11). *Castbergkvartalet* ligger i et byområde, og gjentaksintervallet velges derfor etter den dimensjonerende oversvømmelseshyppigheten for et byområde. Klimafaktoren har blitt hentet fra Bergen sin kommuneplan (Bergen kommune, 2019, s. 19).

Etter identifisering av alle faktorene, ble beregningene for tre ulike situasjoner utført. For å fastsette hvor mye overvann som må fordrøyes på taket med hensyn på LOH, ble vannmengdene før og etter utbygging beregnet og sammenliknet, etter den rasjonelle formelen. Den tredje situasjonen er vannmengden etter etablering av sedum- og blågrønt tak, for å fastsette og hvor mye som vil fordrøyes på taket.

## 6.2 Dimensjonering av konstruksjon

Egenlasten av bjelkene har blitt beregnet ved å finne vekt, dimensjon og lengde i StreamBIM-modellen av prosjektet. Egenvekten av glasstaket har blitt estimert, med tanke på at disse detaljene ikke er gitt i prosjektet. Lastene som følge av grønne- og blågrønne tak ble funnet på nettsidene til ulike leverandører, og ved kommunikasjon via e-post og møter. Beregninger av snølast og vindlast ble gjort for hånd etter NS-EN 1990- standarden, og ble kontrollsjekket i *OS-programmet*.

Momenter og skjærkrefter har blitt beregnet i det samme dataprogrammet. Det ble utført fire lasttilfeller; to uten grønne- og blågrønne tak, og to med grønne- og blågrønne tak. Det ble gjort separate beregninger for tak A og tak B, med forskjellig last på le- og lo siden, ettersom lengdene på bjelkene varierte. Lasttilfellet varierte noe på bjelken, og derfor ble det verste lasttilfellet brukt på hele den aktuelle siden av taket.

Bjelkenes kapasitet ble kontrollert med tanke på moment- og skjærkrefter, etter NS-EN 14080 og *Limtrehåndboka*. Det ble utført beregninger av lasttilfellet som følge av det alternative forslaget, og en beregning av den originale planen på tak A.

Deretter ble det utført to til beregninger på den alternative løsningen med et forsøk på å minske momenter og deformasjoner Disse beregningene ble utført etter installasjon av strekkstag.

### 6.3 BREEAM

Vurderingen av prosjektet ble utført i november 2021, og den gjeldende versjonen av BREEAM-NOR var Teknisk manual SD5075NOR – v1.2. som ble utgitt i 2016. Ettersom det alternative forslaget ble utviklet etter utgivelsen av den nye BREEAM manualen, ble forslaget vurdert etter denne versjonen. Den gjeldende versjonen heter Teknisk manual SD5076NOR (BREEAM-NOR v6.0), som ble gitt ut 28.02.2022 (BREEAM-NOR, 2022, s. 9).

For å fastsette hvilken punkter som ble endret eller utgått, ble de to manualene sammenlignet. Tidligere vurdering beskrevet i dokumentene fra *Brødrene Ulveseth*, ble tatt stilling til for å fastsette innsamlede poeng i de aktuelle emnene. Relevante kapitler i den nye manualen, ble vurdert opp mot det alternative forslaget. Kapitlene som ble vurdert var; «Arealbruk og Økologi», «forurensing» og «innovasjon».

Hensikten var å estimere mulige BREEAM-poeng som kunne blitt oppnådd etter BREEAM-2021 versjonen. De aktuelle emnene som kunne gitt ytterligere poeng, ble undersøkt og delvis implementert i det alternative forslaget. Videre ble totalt innsamlede poeng i begge løsningene sammenlignet, for å avdekke mulige tilføyde poeng.

## 7. Planlagt løsning av Castbergkvartalet

Etter godkjenning av rammetillatelsen skal bygget gjennomgå omfattende endringer, og oppgraderinger for å forbedre strukturell styrke og stabilitet. Disse tiltakene inkluderer installasjon av nye søyler, bjelker og fundamenter. Bygget skal i tillegg BREEAM-sertifiseres til karakteren «Very good», noe som viser at bygget er et engasjement for å redusere sin miljøpåvirkning og oppnå høyere energieffektivitet. Informasjon om prosjektet er hentet ut fra *Brødrene Ulveseth* sine dokumenter.

For å maksimere dagslys i ariet skal det bli installert et glasstak. Glasstaket skal støttes opp av ti takbjelker, og ytterligere bærebjelker. I tillegg skal det installeres store vinduer på baksiden av bygget, som vil være gunstig for å maksimere inntaket av naturlig lys. Vinduet vil ha et horisontalt spenn på omkring 14 meter, som strekker seg fra bakkenivå og henimot hele veien opp til gesimsen, vist på Figur 17.



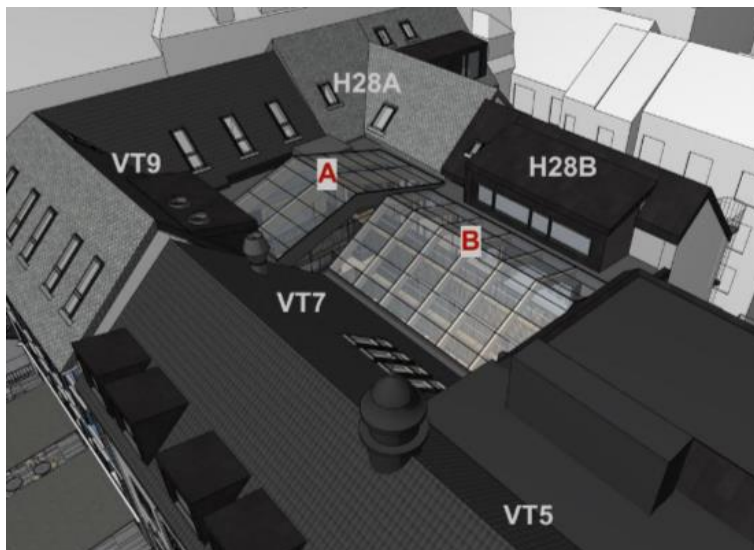


Figur 17: Illustrere innsiden av atriet. Kilde: Brødrene Ulveseth



Figur 18: Atriet innvendig. Kilde: Brødrene Ulveseth

Det eksisterende taket, med unntak av vinduene som skal erstattes med større vinduer, skal bli bevart etter vernereglene. Glasstaket vil refereres til som «tak A» og «tak B», der tak A vil være den høyereliggende delen av taket, og tak B vil være den lavereliggende delen.



Figur 19: Takløsningen Castbergkvartalet. Kilde: Brødrene Ulveseth

## 7.1 Takbjelkene og glasstaket

Takbjelkene består av to limtrebjelker som er festet sammen i et knutepunkt. Bjelkene skal festes momentstivt i mønet ved hjelp av innslissede stålplater. Ifølge beskrivelsen og referansen til *Brødrene Ulveseth*, forventes bjelkene å kunne håndtere lastvirkningen som treffer bjelkene. Det antas at knutepunktet er momentinnspent, noe som betyr at kreftene som oppstår ved takbjelkenes fot, hovedsakelig vil bli fordelt vertikalt nedover. Videre hevdes det at horisontale krefter i knutepunktet ved foten av bjelken, vil være neglisjerbare på grunn av stivheten i mønet.



Figur 20: Takbjelkene i atriet fra innsiden. Kilde: *Brødrene Ulveseth*

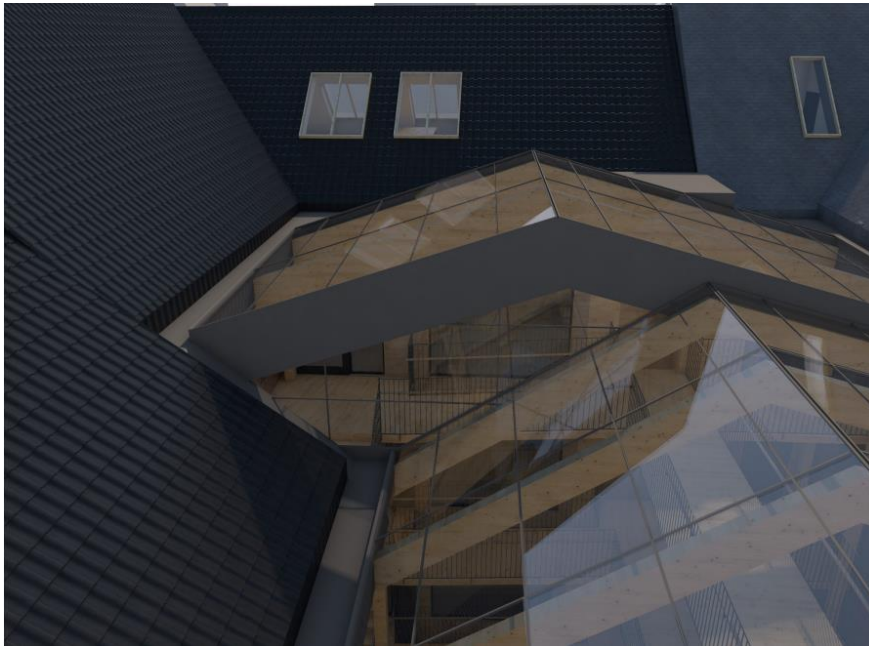
Glasstaket over tak A skal bli støttet opp av tre limtrebjelker, med et tverrsnitt på 1000x140. På tak B vil glasstaket støttes opp av syv limtrebjelker, med et tverrsnitt på 585x115. For strukturell støtte og stabilitet skal glasstaket støttes opp av stålrammer, som gir mulighet for store spenn.

## 7.2 Overvannshåndtering nå og etter rehabilitering

I eksisterende praksis ledes nedbør fra nåværende skråtak, gjennom utvendige taknedløp som er synlige på fasaden, og videre ned i grunnen. Det er ikke helt klart om disse taknedløpene er koblet til det offentlige overvannsnett. Dette vil ifølge *Ulveseth* bli avklart i byggeperioden.

Kartleggingen viser at eksisterende praksis for håndtering av overvann, er å lede overvannet ut i det kommunale avløpsnett gjennom private stikkledninger. Planen er å videreføre denne metoden også etter rehabiliteringen av *Castbergkvartalet*. Etter utbygging av atrium er planen å føre takvannet gjennom nye innvendige, isolerte og støydempende taknedløp. Deretter vil det overføres til nye bunnledninger for overvann.

Videre er det planlagt å knytte de nye bunnledningene til et nedgravd prefabrikkert fordrøyningsbasseng. Dette bassenget vil bidra til å forsinke avrenningen av overvannet, og dermed redusere belastningen på det offentlige overvannsnett. Størrelsen på bassenget er angitt til å bli 9 m<sup>3</sup>. Deretter skal det bli ført en ny overvannsledning med nødvendig kummer fra fordrøyningsbassenget, til det offentlige overvannsnett. Denne ledningen skal knyttes til eksisterende overvannsledning i *Håkongsgaten*. Ideen med fordrøyningsbasseng er vurdert som vanskelig å få til og er derfor usikker, men hittil er det den mest aktuelle løsningen.



Figur 21: Takrennene på taket over ariet etter den planlagte løsningen. Kilde: Brødrene Ulveseth

Figur 21 viser takområdet på den planlagte løsningen. Her illustreres hvordan vannet skal håndteres på taket via takrenner mellom skråtakene, og deretter bli videreført ned langs fasaden og ned til fordrøyningsbassenget.

### 7.3 Samlet BREEAM poeng Pol 03

Ifølge dokumentene til *Brødrene Ulveseth* har *Castbergkvartalet* samlet inn 2 av 5 poeng i overvannskategorien Pol 03. Vurderingen er gjort i henhold til BREEAM\_NOR 2016-versjonen.

#### 7.3.1 Flomrisiko

Basert på analysen fra hydrologikonsulenten og informasjonen fra bergenskart.no, er det bekreftet at *Castbergkvartalet* ikke ligger i et direkte flomutsatt område. Imidlertid indikerer analysen at på grunn av områdets beliggenhet, med tette flater og avrenning fra nærliggende bebyggelse, kan det oppstå økt risiko for flom ved *Lille Lungegårdsvann*. Det oppnås derfor ingen poeng i dette punktet.

### 7.3.2 Overvannshåndtering

En sakkyndig VA-konsulent har bekreftet at kvalifikasjonene i denne delen er i tråd med BREEAM-NOR-definisjonen. Dette som følge av implementering av gode metoder som sikrer at maksimal avrenning ikke overskrides. Tiltaket med fordrøyningsbasseng vil bidra til å opprettholde det naturlige avrenningsnivået, og ikke forårsake en økning i avrenningsvolumet. Dette gir *Castbergkvartalet* maksimalt antall poeng i denne delen, på 2 poeng.

## 7.4 Samlet BREEAM poeng Arealbruk og Økologi (LE)

Bygger er vurdert etter BREEAM-NOR 2016, der det er 5 emner i kapitlet om «Arealbruk og økologi»; LE 01, LE 02, LE 04, LE 05 og LE 06. Her har *Castbergkvartalet* oppnådd 3 av 10 poeng.

I *Le 01 Valg av tomt*, har *Castbergkvartalet* samlet inn 2 av 3 poeng. Poengene er samlet inn på bakgrunn av at arealet tidligere har bestått av en permanent konstruksjon, og har vært tilknyttet infrastruktur med fast overflate.

I *LE 02 Økologisk risiko og muligheter*, har det blitt oppnådd 1 av 2 poeng. Emnet oppfordrer til utbygging på tomter med begrenset økologisk verdi. Ettersom byggeområdet har blitt klassifisert som et areal med liten økologisk verdi, har det derfor blitt oppnådd poeng. Denne vurderingen ble gjort av en økolog.

I de andre kategoriene har ikke bygget oppnådd flere poeng. Det er også mulig at noen av disse poengene ha blitt vurdert bort til fordel for andre poeng som kan være enklere å oppnå.

## 7.5 Utfordringer og forbedringer

### 7.5.1 Ulemper ved glasstak

Installasjon av glasstak gir økt lysinnslipp og forbedret estetikk, men det er også enkelte utfordringer som følger med. Det er viktig å merke seg at installasjonen av glasstaket og de store vinduene kan påvirke bygningens termiske ytelse, og kreve en tilpasning av bygningens ventilasjon- og klimaanlegg (ihome techinfus, u.d.).

Glasstak krever i tillegg en del mer vedlikehold enn konvensjonelle tak. Regelmessig vask av glasstaket vil holde glasset rent og bidra klart sollys i å passere gjennom. Dersom man ikke rengjør glasstaket regelmessig, vil skitt og smuss bygge seg opp og redusere mengden lys som kommer inn i bygget (SINTEF, 2021).

### 7.5.2 Utfordringer med limtrebjelkene

Det er sannsynlig at tverrsnittet av limtrebjelkene er noe underdimensjonert, med tanke på lastene som treffer og geometrien på bjelkene. Som tidligere nevnt, er det planlagt at det skal installeres

innskivede stålplater i mønet for å redusere deformasjoner. Dette kan bli noe krevende ettersom både momenter og deformasjoner sannsynligvis er store i dette punktet. Slike innskivede stålplater må i tillegg være spesiallagde, sterke og nøyaktige, og dermed også kostbar (Moelven, 2015, s. 150).

Kreftene som treffer limtrebjelkene, vil forårsake store momenter og deformasjoner. Det er sannsynlig at knutepunktet er noe mykt for å håndtere de store påkjenningene, og dermed forhindre deformasjoner.

## 8. Nytt forslag til Castbergkvartalet

Det alternative forslaget inkluderer grønne- og blågrønne tak i kombinasjon med glasstak for å øke antallet BREEAM-poeng. Denne kombinasjonen vil forbedre LOH og samtidig bevare store deler av lysinnslippet. Dette vil blant annet sikre en god løsning av overvannshåndtering, med tanke på økt nedbør i fremtiden, og er i tråd med Bergen kommune sine retningslinjer (2005). Selv om det grønne- og blågrønne taket vil fordrøye en del av nedbøren, er det mulig at det fremdeles vil være behov for et fordrøyningsbasseng under atriet.

### 8.1 Bakgrunn for valg av tak

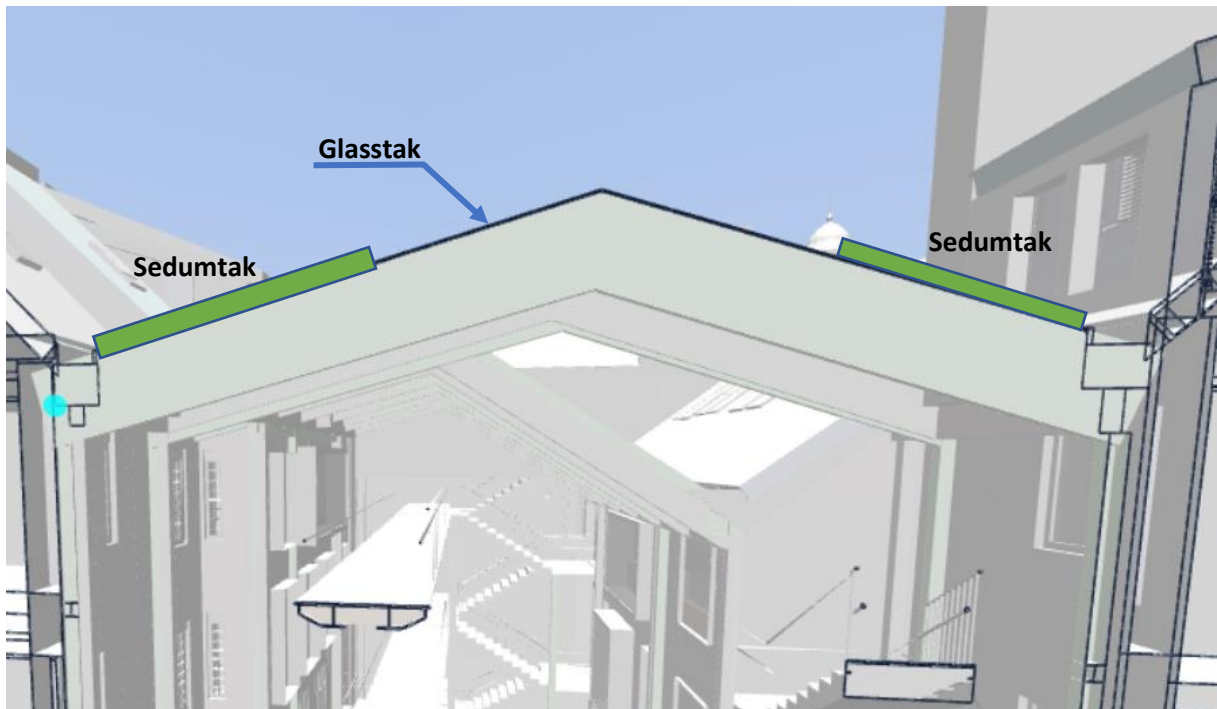
De avgjørende faktorene for beslutningen var lysinnslipp, kapasitet og implementering av grønne- og blågrønne tak. På bakgrunn av ønsket mengde lysinnslipp, innebærer løsningen implementering av sedumtak på nedre halvdel av tak A. Dette vil muliggjøre naturlig lysinntrengning i atriet, samtidig som det delvis absorberer regnvann på den nedre delen av taket. Med hensyn til konstruksjonens kapasitet, vil ikke dette medføre en betydelig lastøkning.

Ved vurdering av tak B ble blågrønne tak valgt i det alternative forslaget. Blågrønne tak har et mer spesifikt fokus på overvannshåndtering enn grønne tak, og ble besluttet på bakgrunn av dette. For optimal fordrøying er det foretrukket at det blågrønne taket installeres på en vannrett flate. Geometrien på tak B vil derfor endres, og blir dermed mer krevende enn implementeringen på tak A. Tak B har en lavere mønehøyde enn tak A, som gir bedre sikkerhet og mulighet for endring av geometrien uten å bryte med vernereglene. Den lavere høyden gir også rom for et tykkere lag av vekstmedium på det blågrønne taket.

### 8.2 Gjennomføring av forslaget

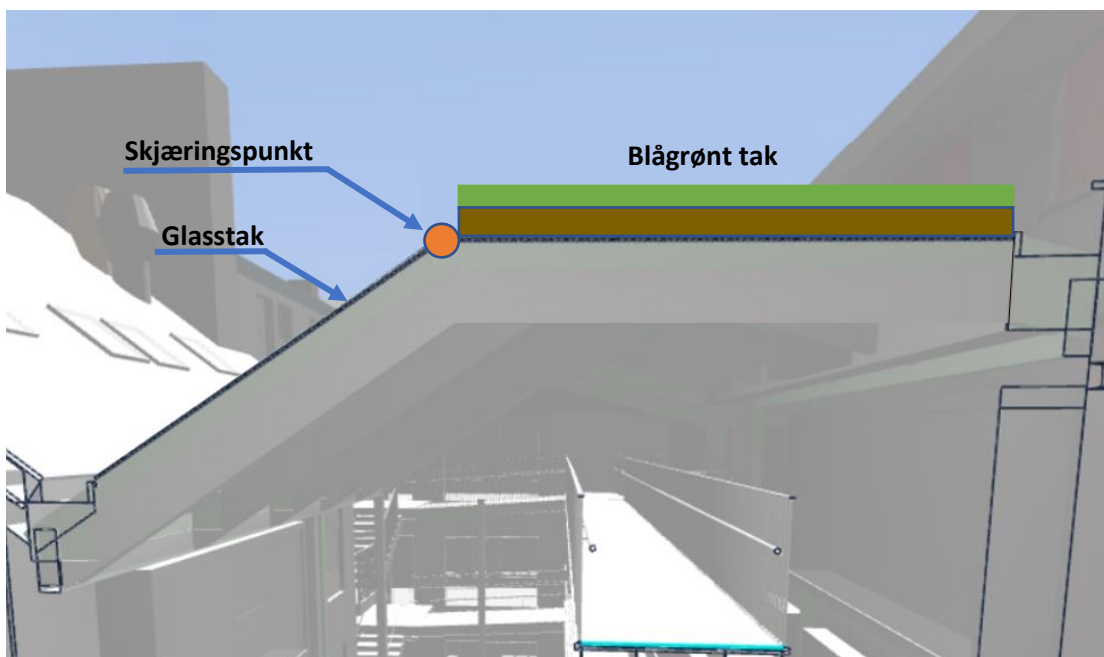
Det blir ikke utført noen geometriske endringer på tak A. Forslaget på tak A er illustrert på Figur 22. Sedumtaket vil omfatte et areal på omtrent 17,8 m<sup>2</sup> og 14,5 m<sup>2</sup>, som illustrert på Figur 24.





Figur 22: Illustrerer Sedumtak på tak A. Kilde: StreamBIM

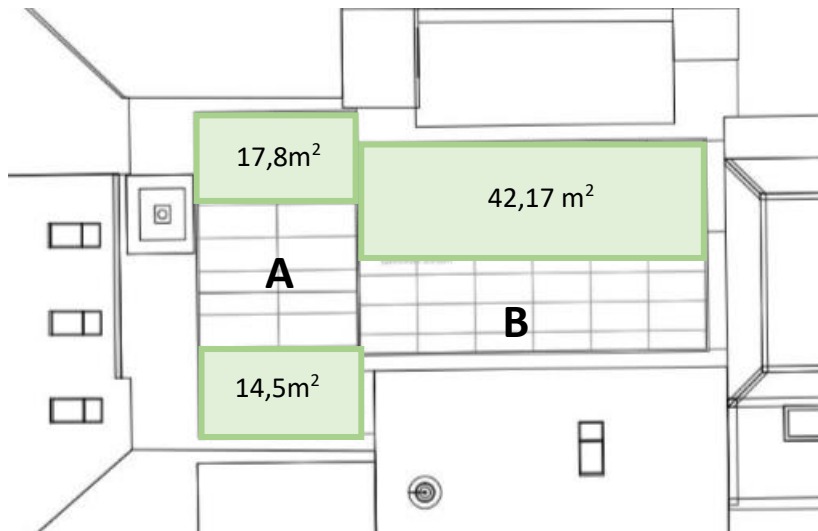
På tak B justeres gesimsen på den høyereliggende siden, og mønehøyden reduseres med omtrent 0,3 meter. Dette for å oppnå en horisontal flate på den ene siden av taket for implementeringen, slik det fremgår av Figur 23. Gesimsen burde heves med omtrent 0,5 meter for at bjelkene skal opprettholde en tilstrekkelig høyde over gangbruen. Den resulterende høyden blir på rett over 3 meter, forutsatt at bjelkene har samme tverrsnitt som tidligere. Beregningene er vist i vedlegg 2.



Figur 23: Modell av tak B etter heving og utflating av tak. Kilde: StreamBIM



Delen som ikke er jevn vil fortsatt være konstruert av glass og opprettholde samme vinkel som videre. Dette vil medvirke til å opprettholde en viss grad av lysinnslipp, ettersom lys fremdeles vil trenge inn på siden av taket. Videre åpner det opp for muligheten for et økt areal av den blågrønne takløsningen, med et totalflateareal på 42 m<sup>2</sup>, illustrert på Figur 24.



Figur 24: Oversikt over det grønne- og blågrønne taket, med areal. Kilde: Brødrene Ulveseth

Ved å kombinere glasstak med grønne- og blågrønne løsninger som presentert, oppnås det en gunstig balanse mellom lysinnslipp og en bærekraftig overvannshåndtering. De store vinduene på baksiden av atriet vil også bidra til ekstra lysinnslipp.

### 8.3 Kvalifiserte tiltak

Ved å opprettholde geometrien på tak A og kun senke mønehøyden på tak B, vil dette være i samsvar med tidligere presenterte lovbestemmelser. Mønehøyden på taket forblir innenfor de tillatte grensene og vil samsvare med vernestatusen til *Castbergkvartalet*.

Tiltakene vil ha en begrenset synlighet fra utsiden, ettersom tak A og tak B er omgitt av høyere bygg. Selv med endringene vil den totale effekten av sedumtaket og det blågrønne taket trolig ikke være betydelig for helhetsuttrykket. Det kan derfor antas at sannsynligheten for at taket vil ha en betydelig innvirkning på bygningens eksteriør er liten, og at forslaget er innenfor de gitte godkjenningene.

## 9. Dimensjonering av overvann på tak

### 9.1 Faktorene i den rasjonelle formel

Avrenningskoeffisienten brukt i beregningene på glastaket er hentet fra Tabell 6, og satt lik 0,9.

Avrenningskoeffisienten for sedumtak er estimert lik 0,8 – 0,85 (TEKNISK Ingeniørvesenet, 2014, s. 8).

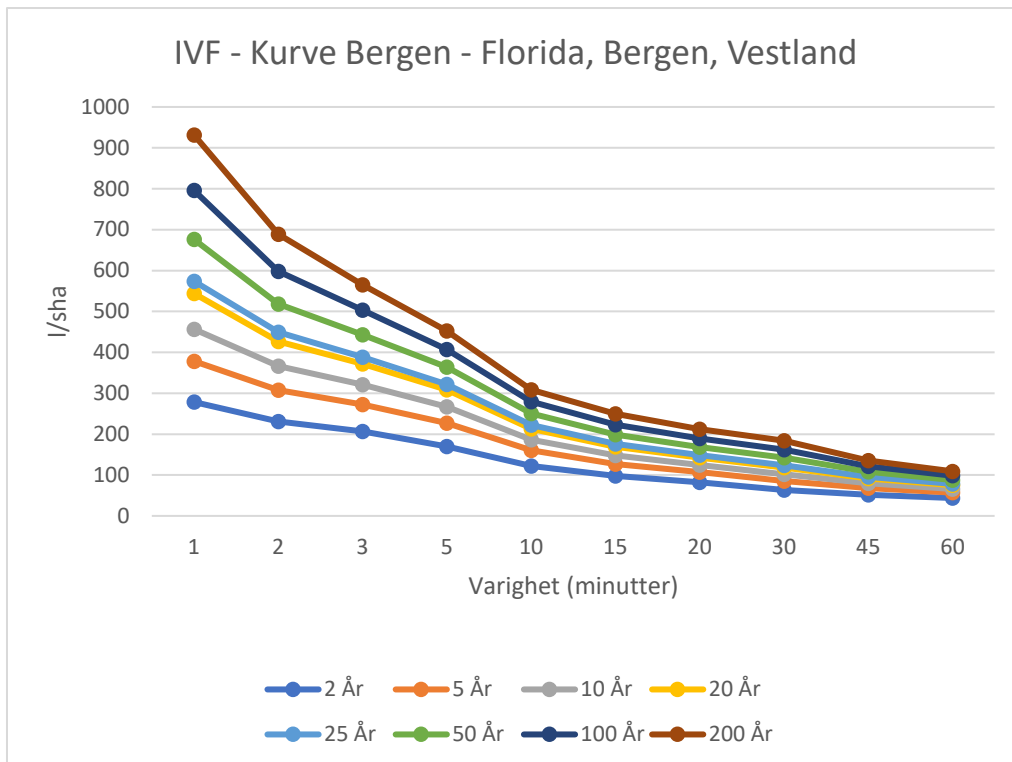
Etter en samtale med Bergknapp, ble det avklart at avrenningskoeffisienten for blågrønne tak ligger på 0,6.

Tette flater (tak, asfalterte plasser/veger o.l.)	0,85 - 0,95
Bykjeme	0,70 - 0,90
Rekkehus-/leilighetsområder	0,60 - 0,80
Eneboligområder	0,50 - 0,70
Grusveier/-plasser	0,50 - 0,80
Industriområder	0,50 - 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30 - 0,50
Fjellområde uten lyng og skog	0,50 - 0,80
Fjellområde med lyng og skog, steinet og sandholdig grunn	0,30 - 0,50

Tabell 6: Tabell for valg av avrenningskoeffisient. Kilde: (Bergen kommune, 2005, s. 14)

Oppmålingene i *StreamBim* ble regnet i kvadratmeter. For å plote disse arealene inn i den rasjonelle formel, ble de konvertert til hektar (ha). Arealet av bakgården er på 0.0246 ha, og arealet av de konvensjonelle takene er på 0.1053 ha. Atriet vil få det samme arealet som bakgården etter utbygging. I henhold til tidligere beskrivelser vil arealet med sedumtak konverteres til 0.00178 ha og 0.00145 ha. Arealet av det blågrønne taket tilsvarer 0.004217 ha.

IVF-kurven på Figur 25 ble benyttet for å fastsette nedbørintensiteten i området. Dataen ble hentet fra målestasjonen på Florida i Bergen. X-aksen representerer regnvarigheten i minutter, mens y-aksen representerer nedbørintensiteten.



Figur 25 IVF-kurve, Florida, Bergen. Kilde: (Norsk Klimaservicesenter, u.d.)

For avlesning av riktig graf i IVF-kurven, må gjentaksintervallet bestemmes. I byområder der oversvømmelse medfører store konsekvenser, skal gjentaksintervall under kolonne «dimensjonerende oversvømmeshyppighet» benyttes etter Tabell 7 (Bergen kommune, 2005, s. 11). *Castbergkvartalet* ligger i et lukket sentrumsområde, som gir et gjentaksintervall på 50 år. Dermed er det den grønne grafen i IVF-kurven som benyttes for avlesning.

Dimensjonerende regnskyllhyppighet (gjentaksintervall) <sup>1</sup> (1 i løpet av n år)	Områdetype	Dimensjonerende oversvømmeshyppighet (gjentaksintervall) <sup>2</sup> (1 i løpet av n år)
2 år	Ubebygde område (åpent)	10 år
10 år 20 år	Boligområde - Åpent - Lukket	20 år 30 år
20 år 30 år	By-/sentrumsområde - Åpent - Lukket	30 år 50 år

Tabell 7: Gjentaksintervall. Kilde: (Bergen kommune, 2015, s. 11)

Regnvarigheten bestemmes av konsentrasjonsiden i området. Tabell 8 viser de fire valgte konsentrasjonsidene benyttet i beregningene, med den tilhørende nedbørintensiteten lest av i IVF-kurven.

Varigheter (minutter)				
Gjentaksintervall (år)	3 min	5 min	10 min	15 min
50 år	443,4 l/sha	364,1 l/sha	250,8 l/sha	198,8 l/sha

Tabell 8: Oversikt over nedbørintensiteten etter varighet. Kilde: (Norsk Klimaservicesenter, u.d.)

Klimafaktoren benyttes på grunnlag av antatt økning av nedbør i fremtiden, dette i løpet av anleggets levetid. I Bergen kommune anbefales et klimapåslag på 40% på regnskyll med varighet mindre enn 3 timer (Bergen kommune, 2019, s. 19). Derfor er en klimafaktor på 1,4 brukt i beregningene.

## 9.2 Dimensjonerende avrenning

Med en hyppighet på 50 år og en konsentrasjonstid på ti minutter, angir Tabell 9 den forventede overvannsmengden på tomten etter den planlagte løsningen. Konsentrasjonstiden på ti minutter ble valgt som forenkling av beregningene. Full utregning av de fire konsentrasjonstidene er utarbeidet i Vedlegg 1.

Beregning av overvannsmengder, den rasjonelle metoden, $Q (l/s) = \phi \cdot A \cdot I \cdot Kf$				
	Konvensjonelle tak	Glasstak		$\Sigma Q(l/s)$
Kontrasjonstid (tk)	10 min	10 min		
Areal (A)	0,1053	0,0246		
Nedbørsintensitet (I)	250,8	250,8		
Klimafaktor (Kf)	1,4	1,4		
Avrenningskoeffisient ( $\phi$ )	0,9	0,9		
Overvannsmengde (Q)	33,2756424	7,7737968		41,0494392

Tabell 9: Beregninger for overvannsmengde på konvensjonelle tak og glasstak i l/s.

Beregningene viser at overvannsmengden som treffer de konvensjonelle takene er på 33,3 l/s. Denne mengden er den samme både før og etter utbyggingen, og er den maksimale mengden som kan føres til ledningsnett, etter Bergen kommune sine retningslinjer. Overvannsmengden som treffer glasstaket, på 7,77 l/s, tilsvarer den ekstra overvannsmengden som må håndteres. Etter utbygging vil den totale overvannsmengden som blir ført ned til ledningsnett, være på 41 l/s, vist i Tabell 9. Økningen av overvann til ledningsnett er dermed på 23,4%.

Tabell 10 viser situasjonen etter det alternative forslaget. Her er taket over atriet delt inn i tre ulike deler; en del for blågrønt tak og to deler for sedumtak.

Beregning av overvannsmengder, den rasjonelle metoden, $Q \text{ (l/s)} = \phi \cdot A \cdot I \cdot Kf$					
	Konvensjonelle tak	Glasstak	Grønne tak	Blågrønt tak	$\Sigma Q \text{ (l/s)}$
Konentrasjonstid (tk)	10 min	10 min	10 min	10 min	
Areal (A)	0,1053	0,0172	0,0032	0,0042	
Nedbørsintensitet (I)	250,8	250,8	250,8	250,8	
Klimafaktor (Kf)	1,4	1,4	1,4	1,4	
Avrenningskoeffisient ( $\phi$ )	0,9	0,9	0,8	0,6	
Overvannsmengde (Q)	33,2756424	5,4353376	0,8988672	0,8848224	38,71098

Tabell 10: Beregninger for overvannsmengde som følge av sedum- og blågrønne tak i l/s.

Installasjonen av sedum- og blågrønt tak gir en reduksjon i overvannsmengden som føres ned til ledningsnett, ettersom at vannet blir fordrøyd. Den totale overvannsmengden som føres ned til ledningsnett er 38,7 l/s. Formel 2 viser reduksjonen av overvannsmengden i den alternative løsningen.

$$\left(1 - \frac{38,7}{41,1}\right) * 100 = 5,8 \%$$

Formel 2 benyttes for prosentregning

Beregningen viser at reduksjonen ligger på 5,8%. Dette er den planlagte løsningen sammenliknet med den alternative løsningen. Selv om mengden blir noe redusert som følge av infiltrasjon, gir det likevel en økning i avrenning på over 16% fra den originale situasjonen på tomten.

#### 9.2.1 Usikkerheter knyttet til den rasjonelle formelen

Det er flere usikkerheter som kan påvirke den rasjonelle formelen. Nedbørsmengden og IVF-statistikken er basert på historisk data. Dette angår data knyttet til stasjonsnett, korte nedbørstidsserier, statiske metoder og klimaendringer. (Norsk Klimaservicesenter, u.d.).

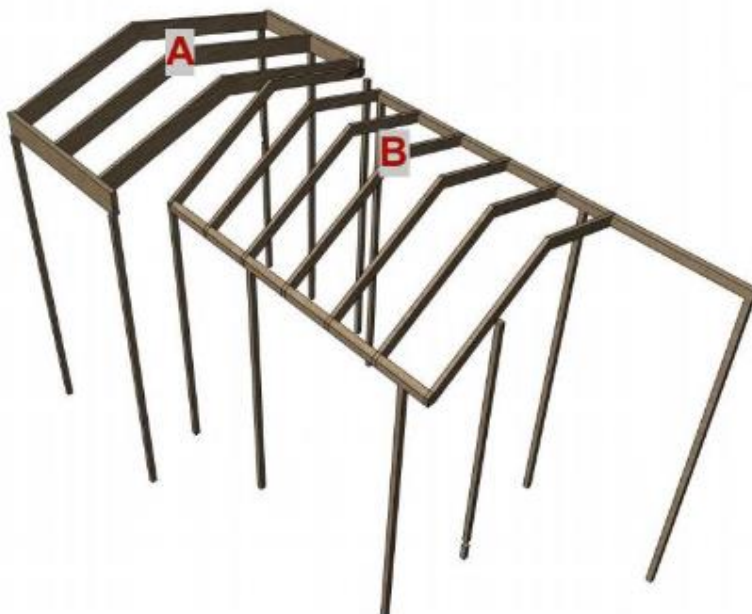
Det foreligger også en betydelig usikkerhet knyttet til avrenningskoeffisienten for grønne og blågrønne tak. Avrenningskoeffisienten antas å variere avhengig av flere faktorer, inkludert områdestørrelse, materialtype, lagtykkelse og oppsettet av taket (Muthanna, 2020). Årstidens variasjoner og nedbørsmønstre, samt tilstedeværelse av frost og is på overflaten har også en betydelig påvirkning (TEKNISK Ingeniørvesenet, 2014, s. 2). I tilfelle av nedbør med kort varighet (<1 time) anbefales bruk av lave verdier, mens ved nedbør av lengre varighet (>3 timer) bør det benyttes høyere verdier (Fergus, 2015, s. 7).

De endelige resultater kan i tillegg bli påvirket av menneskelige feil og unøyaktigheter ved avlesninger, spesielt når det gjelder bestemmelsen av verdier som skal benyttes i den rasjonelle formelen. Generelt sett burde konsentrasjonsiden beregnes, men på grunn av det begrensede

arealet til *Castbergkvartalet* har det blitt anslått fire verdier, hentet fra Bergen kommune sine retningslinjer. Tomtearealet som benyttes i utregningene er avledet fra StreamBIM-programmet, der arealet er estimert og baseres på lengdemålinger. Det må derfor tas i betraktning at arealet ikke kan garanteres å være nøyaktig.

## 10. Dimensjonering av takbjelkene

Dimensjoneringen av takbjelkene for *Castbergkvartalet* indikerer om bjelkene har tilstrekkelig kapasitet med tanke på lastene som konstruksjonen blir utsatt for, i hovedsak med tanke på forslaget. Dette er overslagsberegninger på bjelkene i bruddgrensetilstand, der takbjelkene skal kontrolleres med tanke på moment- og skjærkapasitet. Det blir brukt to forskjellige lasttilfeller; en for tak A og en for tak B. På de to takene blir det verste tilfellet av laster brukt for alle bjelkene for det spesifikke taket, vist på Figur 26. Det har blitt gjort noen overslagsberegninger for planlagt løsning, men i hovedsak baserer overslagsberegningene seg på forslaget med sedum- og blågrønt tak. Full utregning i Vedlegg 2.



Figur 26: Viser den bærende limtrekonstruksjon under glasstaket. Konstruksjonen er delt inn i to deler, del A og del B, for å skille de to takområdene. Kilde: Brødrene Ulveseth



## 10.1 Laster

Taket skal kontrolleres slik at dimensjonerende lastvirkningene ikke overskrider kapasiteten til takbjelkene. Takbjelkene kontrolleres i bruddgrensetilstand, der både forskyvninger og momenter blir undersøkt. Lastbildet blir funnet ved å multiplisere de karakteristiske lastene med lastfaktorer (Moelven, 2015, s. 36).

Lastverdiene som blir grunnlagt baserer seg på både de permanente- og variable lastene som virker på taket. Disse lastene er funnet ved håndberegning og bekreftes i OS-programmet. Det antas at lastene opptrer under normal bruk og forutsetninger. Videre utregninger av momenter, skjærkrefter og deformasjoner, ble beregnet i OS programmet. Oppsummering av laster blir vist i Tabell 11 og 12.

### 10.1.1 Egenlaster

Takkonstruksjonen er i utgangspunktet utsatt for to egenlaster. Egenlasten inkluderer både egenvekt av bjelkene, inkludert stålet installert i bjelkene, og glasstaket. Egenvekten av glasstaket kunne i prinsippet blitt regnet som nyttelast, med ettersom det vurderes mindre sannsynlig at vekten av glasstaket vil endre seg i løpet av byggets levetid, vil vekten av glasstaket behandles som en egenlast.

Nødvendig informasjon for å fastsette egenvekten av bjelkene ble hentet ifra *StreamBIM* modellen. Vekten av bjelkene ble gitt i kg per bjelke, tverrsnittstørrelsen og lengden av bjelkene ble videre brukt til å finne egenvekten i kN/m.

I tilfellet med sedum- og blågrønt tak på *Castbergkvartalet*, vil konstruksjonen få en ytterligere egenvekt. Ettersom sedumtaket og det blågrønnet taket vil gi konstant belastning på konstruksjonen, vil disse lastene bli definert som egenlaster. I overslagsberegningene brukes maksimalt lasttilfelle, det vil si når sedumtaket og det blågrønne taket er mettet av vann.

### 10.1.2 Snølast

For å finne opptredende snølast benyttes NS-EN-1991-1-3. Ved utregning av snølast på tak benyttes Formel 3;

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \quad [5.1]$$

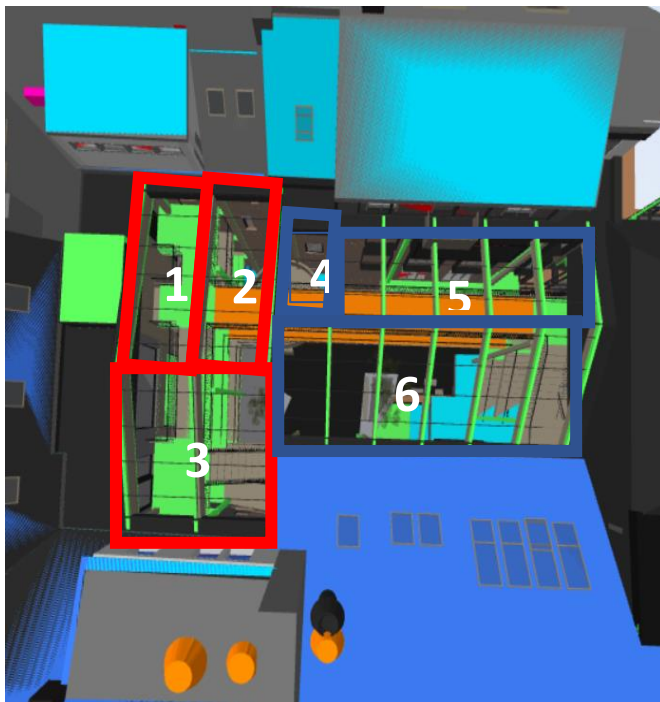
*Formel 3 Snølast*

$C_e$  blir satt lik 1,0 etter Tab.5.1, og  $C_t$  blir også satt lik 1,0.

Ettersom glasstaket er omringet av høyereliggende bygg, så vil det bli opphopning av snø på taket. Beregningene ser bort ifra topografi- og temperaturfaktorene. Bygget er under høydegrensen for snølast i Bergen, og dermed er snølasten lik grunnverdien på 2,0 kN/m<sup>2</sup> etter Tab NA.4.1(901).

Formfaktorene som blir brukt, blir beregnet etter Tab 5.2, og er et resultat av fonning som oppstår på taket som følge av høyereliggende tak. Siden vi ser på et litt spesielt tak som består av to deler, og flere forskjellige høydeforskjeller, ble kalkulasjonene gjort individuelt på hvert av tilfellene.

Takene rundt glasstaket har varierende høyder, og glasstaket har derfor blitt delt inn i 6 soner, vist på Figur 27. Dette gjør beregningene mer nøyaktige ettersom noen av takene kan defineres som sagtak etter 5.3.4, og andre deler kan defineres som «tak som grenser mot høyereliggende bygg» etter 5.3.6, ifølge standarden.



Etter å ha undersøkt snølasten i alle sonene, ble det verste tilfellet for hvert av takene tatt med i videre beregninger. Ettersom bjelkene på hver side av taket har forskjellig lengde, må det tas med to verdier for hvert tak. Dette gir totalt fire snølaster, og deres tilhørende trekantlastar som følge av fonning.

På tak B i sone 4 og 5, som vist i Figur 27, er det to forskjellige bjelkelengder. I sone 4 er bjelkene på 5,2 meter, og i sone 5 er bjelkene på 3,9 meter. Her brukes lengden der den verste snølasten er på hele siden.

Figur 27: Figuren viser sonene som taket deles inn i med tanke på snølast. Kilde: StreamBIM

### 10.1.3 Vindlast

Vindlast beregnes etter NS-EN 1991-1-4. Det ble testet ut to forskjellige tilfeller av mulig vindlast. En uten topografieffekt og en med topografi tatt i betraktning.

I første tilfelle ble turbulens som følge av topografi utelukket, ettersom *Castbergkvartalet* ligger langt nok unna nærmeste fjell (Sandviksfjellet) med tanke på høyden til fjellet. For å regne ut vindkasthastighetstrykket ble forenklet beregning brukt etter V.1.

Basisvindhastigheten ( $V_b$ ) settes lik stedsvindhastigheten ( $V_m(z)$ ) ifølge NA.4.1. Stedsvindhastigheten for Bergen er på 26m/s etter NA.5(901.1). I dette tilfellet er nærmeste terrengovergangssone fra *Castbergkvartalet* kysten i Bergen. Terrengkategorien går dermed fra sone IV til sone I for området etter Tab.NA4.1 og verdien for  $K_3$  er 1,4 etter Tab NA.4.1 b. Stedsvindhastigheten blir dermed 20,01 m/s etter Formel 4. Høyden  $z_{min}$  (m) er på 16 meter etter Tab NA.4.1, og denne blir videre brukt i

diagram NA 6.1 8 (c) til å finne vindkastverdien ( $q_{p0}(z)$ ) på  $0,8 \text{ kN/m}^2$ .  $K_3$ -værdien på  $1,4$  blir funnet etter Tab V.1, og vindlasten ( $q_{kast}$ ) er dermed  $1,12 \text{ kN/m}^2$ , etter Formel 4.

$$q_{kast}(z) = q_p(z) * K_3$$

*Formel 4: Vindlast*

Dette ble bekreftet i *OS-programmet*, der turbulensfaktoren ikke ble tatt i betraktning.

I tilfelle to er derimot turbulensintensiteten tatt med i betraktning. Fjellet som ble vurdert var Fløyfjellet, der avstanden fra et av de bratteste partiene til *Castbergkvartalet* er  $0,65 \text{ km}$ , og den gjennomsnittlige fallvinkelen fra dette punktet ligger på  $28,6 \text{ grader } ^\circ$ . (Norgeskart, u.d.).

Det er nødvendig å regne med turbulens dersom det er en fallvinkel å minst  $30^\circ$ , og at byggestedet ligger innenfor rekkevidden  $8h$  av fjellets høyde. Konservativt regnes dette her. Her regnes også basisvindhastigheten lik som stedsvindhastigheten på  $26 \text{ m/s}$ , grunnet alle koeffisientene etter NA.4.2(2) er lik en.

Ruhetskategorien i dette tilfellet går fra IV til II, som er ruhetskategorien for fjellet. For å finne terrengruhetsfaktoren  $C_r(z)$  blir formel 4.4 brukt og Tab NA.4.1 for å finne nødvendige parametere. Dette gir en terrengruhetsfaktor på  $1,181$  som videre blir brukt for å finne stedsvindhastigheten ved bruk av Formel 5.

$$V_m = C_r(z) * C_0(z) * V_b \quad [4.3.1]$$

*Formel 5: Stedsvindhastighet*

Med topografifaktor ( $C_0(z)$ ) lik  $0,9$  [4.3.3] gir det en stedsvindhastighet på  $27,63 \text{ m/s}$ . Formelen i NA 4.8 blir brukt for å finne vindkastverdien på  $1,5 \text{ kN/m}^2$ . For å finne vindlasten multipliseres vindkastet med  $K_3$ , som vist i Formel 4.  $K_3$  blir funnet i Tab V.1 a, der differansen i terrengruhetsfaktoren er  $1$ , distansen er  $0,65$ , og sone A er sone I. Dette gir en  $K_3$  på  $1,14$  og en vindlast på  $1,7 \text{ kN/m}^2$ . Ettersom dette er den største av de to vindlastene er det denne verdien av vindlasten som er med i videre beregninger.

Ulriken ble også vurdert når det kommer til vindlast med turbulens. Disse to fjellene viste seg å gi omtrent samme turbulensfaktor, men vindretning fra Fløyfjellet vil gi størst last på taket som følge av vindretning som inntreffer på takets form.

For å finne vindlasten som treffer taket ble det brukt en formfaktor på  $0,4$  etter Tab.7.4 a. Hele glasstaket ble regnet i sone I ettersom taket ligger i midten av høyereliggende tak. Vindlasten ble som følge av dette  $2,4 \text{ kN/m}^2$ .

## 10.2 Oppsummering av laster

<b>Tak A</b>		
	<b>Bjelke 7,371 meter</b>	<b>Bjelke 5,916 meter</b>
<b>Egenlast Limtrebjelke:</b>	0,67 kN/m	0,67 kN/m
<b>Egenlast glasstak:</b>	2,81 kN/m	2,81 kN/m
<b>Egenlast: sedumtak</b>	1,38 kN/m	1,38 kN/m
<b>Snølast:</b>	4,5 kN/m	4,5 kN/m
<b>Tilhørende trekantlast:</b>	14,1 kN/m	11,41 kN/m
<b>Vindlast:</b>	6,74 kN/m	6,74 kN/m

Tabell 11: Oppsummering av laster på tak A

<b>Tak B</b>		
	<b>Bjelke 5,2 meter</b>	<b>Bjelke 5,7 meter</b>
<b>Egenlast Limtrebjelke:</b>	0,31 kN/m	0,31 kN/m
<b>Egenlast glasstak:</b>	1,98 kN/m	1,98 kN/m
<b>Egenlast: blågrønt tak</b>	7,77 kN/m	7,77 kN/m
<b>Snølast:</b>	3,17 kN/m	2,34 kN/m
<b>Tilhørende trekantlast:</b>	9,33 kN/m	6,34 kN/m
<b>Vindlast:</b>	4,75 kN/m	4,75 kN/m

Tabell 12: Oppsummering av laster på tak B.

## 10.3 Overslagsberegninger av bjelker i bruddgrenstilstand

For å identifisere deformasjoner som følge av kreftene konstruksjonen blir utsatt for, må bjelkenes grensetilstand kontrolleres med tanke på moment og skjærkraft. Limtreklassen som er brukt er GL 30c. Formler og verdier som har vært brukt i utregningene, har blitt tatt fra limtreboka og norsk standard NS-EN 14080.

Dimensjonerende kapasitet i bruddgrensetilstand bestemmes av de dimensjonerende fasthetsverdier for limtre. Dette er for eksempel bøyning, strekk eller skjær. Bjelker med et rektangulært tverrsnitt, må kontrolleres for at de har tilstrekkelig kapasitet når det kommer til bøyning og skjær, og at de tilfredsstillers spesifiserte krav til nedbøyning og svingninger. Ved opplegg bør det kontrolleres at trykket normalt på fiberretningen ikke overskrider dimensjonerende fasthet. Lengden avgjør hvilke krav som blir dimensjonerende. For middels lange spenn, slik som i dette tilfellet, er det normalt sett bøyning som blir kritisk, mens skjær blir dimensjonerende for kortere spenn. Som følge av at bjelkene i dette tilfellet ansees som middels lange spenn, antas overslagsberegninger for opplegg ikke nødvendig. Aksialkraften regnes tilsvarende 0, og dermed neglisjerbar. Beregningene gjort gir et overslag for bjelkenes kapasitet.

### 10.3.1 Kapasitet og påførte krefter

For å fastsette om kapasiteten i bjelkene er tilstrekkelig, må spenningen som følge av moment og skjær beregnes.

Den dimensjonerende spenningskapasiteten for moment ( $f_{mk}$ ) til limtreklasse GL 30c er  $30\text{N/mm}^2$ , etter Tab.4 i NS-EN 14080. Dimensjonerende spenningskapasitet for skjær ( $f_{vk}$ ) er på  $3,5\text{ N/mm}^2$ . Kapasiteten av bjelken avhenger av limtrebjelkens tverrsnitt. Deretter må påført moment, som følge av lastene belyst tidligere i oppgaven, finnes for å finne forholdet mellom påført moment og kapasitet. Momenter og skjærkrefter har blitt beregnet i *StaadPro*, se Vedlegg 2

I overslagsberegningene av bjelkene er det et par faktorer som har blitt brukt. Med tanke på varigheten av lastene som treffer, blir det brukt en faktor  $k_{mod}$  i både beregningene for bøyning og skjær. Denne faktoren er funnet etter Tab.2-3 og Tab. 2-4 i limtrehåndboka eller Tab. 3.1 NS-EN 14081-1. For egenvekt er verdien i prinsippet 0,6, for nyttelast er den 0,8 eller 0,9. I disse overslagsberegningene er det brukt en estimert fellesverdi på 0,7 for å forenkle beregningene. Partialfaktoren for limtre, også kjent for material-faktoren, er i Norge satt til 1,15 ifølge Tab. NA.2.3.

Det må igjen understrekes at overslagsberegningene som har blitt utført regner med deformasjoner i bruddgrensetilstand. Deformasjoner i bruksgrensetilstand er om lag 40% mindre enn dette. I tillegg er lasttilfellet noe konservativt, ettersom det mest ekstreme lasttilfellet blir anvendt over hele taket. Lastene brukt i overslagsberegningene er dermed noe høyere enn de faktiske lastene som vil inntreffe på taket.

### 10.4 Spenningskontroll bøyning og skjær – Tak A

Bjelkenes kapasitet med tanke på skjærkrefter er ifølge overslagsberegningene tilstrekkelig. Den dimensjonerende spenningskapasiteten for skjærkraft er  $2,13\text{ N/mm}^2$  og beregnes etter Formel 6.

$$f_{vd} = k_{mod} \times \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad [2.17]$$

Formel 6 Skjær

For den mest kritiske bjelken på hver side av tak A, er skjærkreftene 169 kN og 184 kN. For være sikker på at denne kapasiteten er tilstrekkelig, må skjærspenningen som oppstår i de to bjelkene undersøkes. Dette avhenger av tverrsnittet av bjelken, og blir beregnet etter Formel 7. Dette gir skjærspenninger på  $1,8\text{ N/mm}^2$  og  $1,96\text{ N/mm}^2$ , som begge er mindre enn maksimal kapasitet  $f_{vd}$ .

$$\tau = \frac{V_f}{0,67 b x h} \quad [6.1.7]$$

Formel 7 Opptredende skjærspenning

Videre må spenningskontroll med tanke på moment utføres. Dimensjonerende spenningskapasitet for moment regnes ut etter Formel 8, og resulterte i 18,26 N/mm<sup>2</sup>.

$$f_{md} = f_{mk} \chi \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \quad [6.1.6]$$

*Formel 8 Dimensjonerende spenningskapasitet for moment*

Deretter må spenningen som oppstår i bjelkene beregnes. Dimensjonerende bøyemoment ( $M_f$ ) som resulterer i bjelkene på tak A, uten sedum-tak er tatt i betraktning. Bøyemomentene er her på 498 kNm og 513 kNm. Med sedumtak vil dimensjonerende bøyemoment være på 505kNm og 520 kNm, se Vedlegg 2 Dette utgjør minimale forskjeller, og derfor blir det kun gjort en overslagsberegning for tak A. For å finne spenningen som oppstår som følge av momentene, må  $W_y$  beregnes.  $W_y$  avhenger av tverrsnittet på bjelken. For å finne opptredende bøyepeningene benyttes Formel 9.

$$\sigma_{mf} = \frac{M_f}{W_y} \quad [6.1.6]$$

*Formel 9 Opptredende bøyepeninger*

Bøyepeningene ( $\sigma_{mf}$ ) ble her på 22,3 N/mm<sup>2</sup> og 21,65 N/mm<sup>2</sup>, og ut ifra overslagberegningene ser det ut til at bjelken på tak A er noe underdimensjonert. Disse spenningene gir en utnyttelsesgrad på 122- og 118 prosent. Dette overskrider kapasiteten til bjelkene og resulterer i for store deformasjoner.

StaadPro beregnet deformasjonene i bjelkene.

Deformasjonene var størst i mønet, der mønet vil synke med hele 78 mm. I knutepunktet nede på enden av den korteste bjelken vil det oppstå deformasjoner i x-retning, på hele 47 mm. Ifølge den originale planen skal det monteres innslissede stålplater, lignende den på Figur 28. Dette er for å ta opp momentene som oppstår i mønet som følge av de dimensjonerende lastene. For at denne innslissede stålplaten skal ta opp overslagslastene som funnet her, må det fast innspenne stålet være kraftig og dermed også kostbart.



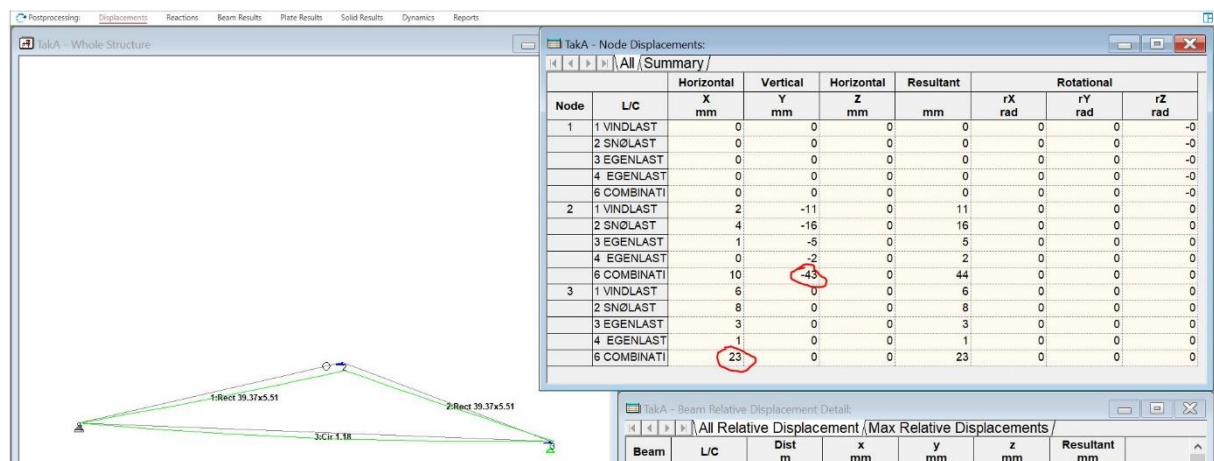
*Figur 28: Innspente stålplater brukt på fylkesbygget, Kilde: Sweco*



## 10.5 Alternativ løsning på konstruksjon – Tak A

Det er flere alternative måter å ta opp momentene og redusere deformasjoner i knutepunktet dersom den innspente stålplaten ikke har tilstrekkelig med kapasitet, eller blir for kostbar. En kostnadseffektiv løsning er å installere et strekkstag i stål mellom bjelkene på tak A. Dette vil bidra med å ta opp noe av momentet i mønet. Med stag vil man i tillegg kunne ha enklere forbindelser i knutepunktet for å forhindre deformasjoner i y-retning, som for eksempel utenpåliggende stålplater.

Ytterligere overslagsberegninger på tak A har blitt gjort i *StaadPro*, der et stag av stål er inkludert i beregningene. Staget er festet slik at det fortsatt er en høyde på 2,10 meter over gangbroen, og strekker seg fra endene av bjelkene. Staget viser seg å ta opp en god del av momentene i knutepunktet. Bøyepenningene etter installasjonen av stag resulterte i kun  $8,3 \text{ N/mm}^2$  og  $4,9 \text{ N/mm}^2$ , noe som gir et spenningsforhold på 0,45 og 0,27. Deformasjonene på toppen (knutepunkt 2) blir også betydelig mindre med et strekkstag og er her på 43 mm, som vist på Figur 29. Deformasjonene ved foten av den korteste bjelken (knutepunkt 3) vil også reduseres til 23 mm.



Figur 29: Deformasjoner på tak A medr strekkstag. Kilde (StaadPro, u.d.)

## 10.6 Spenningskontroll bøyning og skjær – Tak B

Ettersom det er bøyning som er kritisk og dermed dimensjonerende for middels lange spenn, ble det ikke bli gjort overslagsberegninger for skjærkapasitet på tak B. Dette ble også bekreftet i overslagsberegningen av Tak A. Kun beregninger for tilfellet med blågrønt tak blir utført på tak B, da dette er mest aktuelt med tanke på begrensningen.

I tilfellet med blågrønt tak, er de maksimale momentene på 187 kNm og 191 kNm. Disse oppstår i mønet. Med et tverrsnitt på 585x115, slik som dimensjonert i den originale planen, kan limtrebjelkene håndtere en spenning på  $18,26 \text{ N/mm}^2$ . Spenningsmomentet som oppstår i knutepunktet er på  $29,11 \text{ N/mm}^2$ , noe som gir en utnyttelsesgrad på 159%. Kapasiteten til bjelkene er ikke er tilstrekkelig, og bjelkene er noe underdimensjonert i forhold til overslagsberegningene.

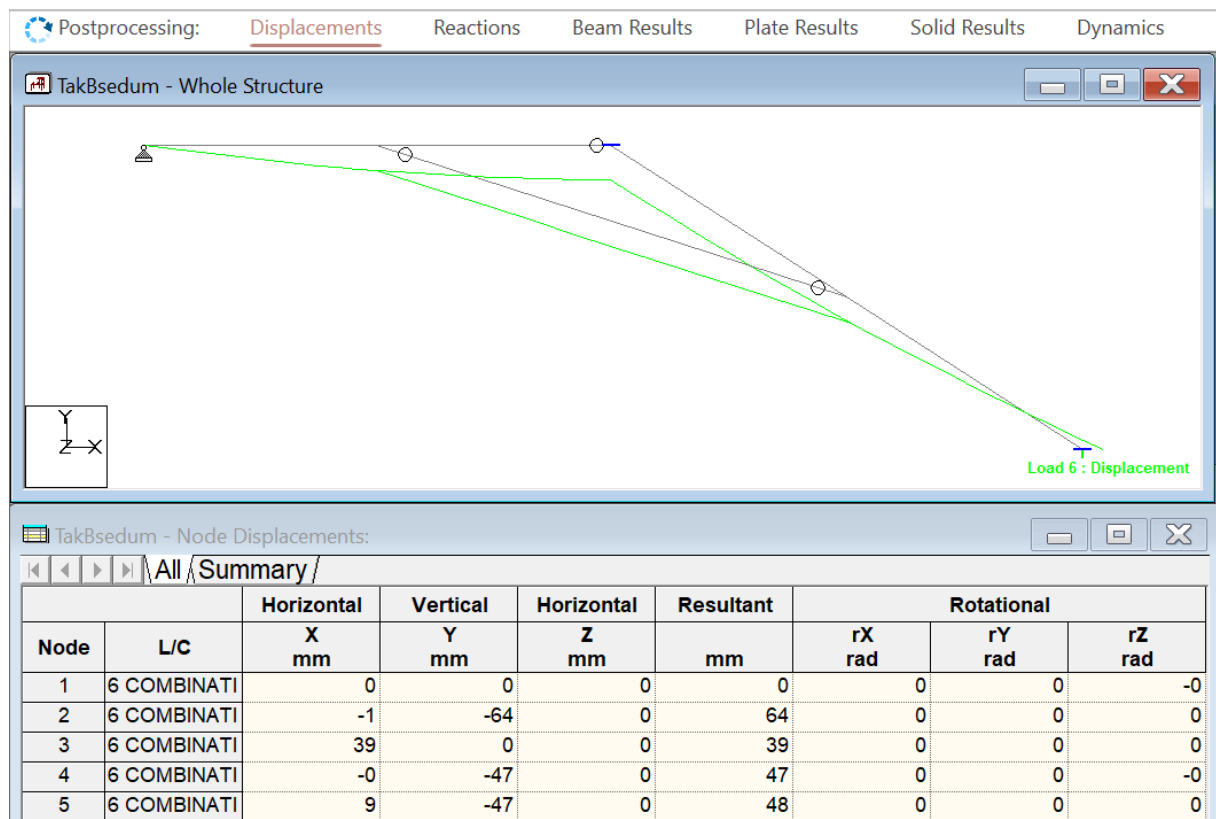
Her var også den originale planen å installere innslissede stålplate for å redusere deformasjoner i knutepunktet. Det er i den planlagte løsningen til Brødrene Ulveseth, altså uten blågrønt tak og med en annen geometri på taket. En utnyttelsesgrad på 159% er uakseptabelt og bjelkene må oppdimensjoneres.

### 10.7 Alternativ løsning på konstruksjon - Tak B

Slik som på tak A vil det å ta i bruk et strekkstag være en god og lite kostbar løsning. På grunn av høyden over gangbroen må strekkstagen heves. Dette er dermed ikke en optimal plassering, og en får fremdeles store krefter i takbjelkene. Ved bruk av strekkstag vil ikke mønet lenger ha moment, og det vil oppstå en skjærkraft som er håndterlig for en enkel forbindelse. Maksimalt moment vil være plassert på bjelkene, og vil bli 159 kNm og 141 kNm ifølge StaadPro. Dette vil gi bøyespenninger på 24,24 N/mm<sup>2</sup> og 21,5 N/mm<sup>2</sup>. Dette gir en utnyttelsesgrad på 118% og 133% som er noe lavere enn uten strekkstag, men fortsatt noe høyt.

Deformasjonene i knutepunktet på toppen vil ifølge StaadPro være på 64 mm i y-retning.

Deformasjonen i knutepunktene ved foten av den laveste bjelken vil etter strekkstag være 47 mm i x-retning. Deformasjonene er vist i Figur 30.



Figur 30: Deformasjoner på tak B med strekkstag. Kilde StaadPro

Overslagsberegningene viser at det dimensjonerte tverrsnittet ikke er tilstrekkelig. Dette gjelder spesielt tak B. Dersom en øker tverrsnittet vil konstruksjonen bli kapabel nok til å håndtere lastvirkningen som følge av det alternative forslaget.

## 11. Drøfting

### 11.1 Effektiviteten av overvannshåndteringen

Reduksjonen av overvann ført til ledningsnett på bare 5,8%, ifølge overvannsberegningene.

Effektiviteten av sedum- og blågrønne tak viser seg derfor å være minimal og ikke signifikant.

Årsaken til den lave reduksjon av overvannsavrenning kan være mange. Eksempelvis har overflatearealet en påvirkning på lønnsomheten av sedum- og blågrønne tak. På grunn av ønsket om å bevare deler av glasstaket over atriet, ble arealet tilgjengelig for sedumtaket og det blågrønne taket begrenset. Til tross for endringene av takets geometri, viste resultatet fra overvannsberegningen at endringen ikke hadde en betydelig effekt.

Bygget befinner seg i Bergen der det i gjennomsnitt et mildt og fuktig klima. Frost og is reduserer overflatens permeabilitet. Effektiviteten av sedum- og blågrønne tak kan derfor være noe høyere i Bergen, sammenliknet med andre områder med et kaldere og tørrere klima. Videre er været i Bergen som regel preget av intense eller langvarige regnhendelser. Dette kan føre til at lønnsomheten ved bruk av grønne- og blågrønne løsninger kan være lavere, ettersom disse løsningene bør ha økt evne til å håndtere større vannmengder.

Effekten av tak A er påvirket av både nedbørsmengden og takets helning. Skråtak gir mindre overflateareal og begrenser tykkelsen på vekstmediet. Dermed reduseres kapasiteten til et sedum- eller blågrønt tak på et skråtak. Etter beregningene vil en betydelig del av nedbøren som treffer tak A ikke infiltreres. Med hensyn på det faktum at tak A etter forslaget består av 50% sedumtak, antas det at kapasiteten ikke ville ha vært tilstrekkelig uansett om hele tak A hadde blitt transformert til et sedumtak. Selv om effektiviteten er liten etter innsamlet nedbørsdata, kan

For å opprettholde LOH kan i prinsippet ingenting av nedbøren som treffer taket over atriet føres direkte til ledningsnett. Dette skyldes at kapasiteten til ledningsnett før utbygging, teoretisk sett, kun omfatter nedbør som renner fra de omkringliggende byggene. Det blågrønne taket på tak B vil, uavhengig av tykkelse, ikke ha potensiale til å fordrøye den samlede nedbørsmengden tak B blir utsatt for. Dette er fordi vannet som treffer delen med det resterende glasstaket, ligger nedenfor det blågrønne taket, og vil uansett renne videre ned til taknedløpene.

Selv om implementering av sedumtak og et blågrønt tak i denne situasjonen ville hatt begrenset påvirkning, kan andre bygninger i Bergen potensielt profiteres i større grad av slike metoder. Ved å benytte den alternative løsningen på *Castbergkvartalet*, er det nødvendig å supplere en ekstra metode for overvannshåndtering som kan håndtere den resterende nedbørmengden. En mulighet kan være å opprettholde planen om å installere et fordrøyningsbasseng under bakken. På den måten vil de positive aspektene ved grønne løsninger bevares samtidig som overvannshåndteringen vil være tilstrekkelig.

Den mest optimale løsningen ville vært en fullstendig utskifting av glasstaket med et blågrønt tak. Den løsningen kunne sannsynligvis håndtert en betydelig større mengde av nedbøren som treffer taket. Effektiviteten ville vært økt, og reduksjonen av overvann til ledningsnettets kunne sannsynligvis vært tilstrekkelig for å opprettholdelse av vannbalansen. Ved å transformere hele taket til et blågrønt tak, ville det vært mulig å øke tykkelsen på vekstmediet til en kapasitet som sikrer tilstrekkelig fordrøyning på taket. Det flate taket ville også åpnet opp for nye muligheter for bygningen. Eksempelvis kunne det blitt etablert en hage, eller det kunne blitt dyrket egne produkter til virksomhetens kantine.

Dersom hele taket over atriet skulle blitt konvertert til et blågrønt tak, ville det vært nødvendig å jevne ut hele takflaten for optimal fordrøyning. Dette ville forenklet eventuelle behov for oppdimensjonering av bjelkene for å håndtere det økte lasttilfellet som ville virket på taket.

## 11.2 Mulige BREEAM-poeng

I tillegg til innsamlede poeng i den planlagte løsningen, gir det nye forslaget muligheter for å oppnå ytterligere BREEAM-poeng. Poengene i den alternative løsningen vurderes i samsvar med BREEAM-NOR v6.0, ettersom den ble vurdert etter utgivelsesdatoen den 28.02.2022. Den aktuelle kategorien som har blitt vurdert er *Arealbruk og økologi*, med underpunktene LE 01 – LE 08, da disse er mest relevante i forhold til rapportens avgrensninger. Sedumtaket og det blågrønne taket kunne også bidratt til poengsanking innen andre kapitler, for eksempel *Materialer og Energi*, men disse aspektene vil ikke inkluderes i denne vurderingen.

Det er utfordrende å fastslå det nøyaktige antall BREEAM-poeng som kan oppnås uten en grundig udersøkelse og bekreftelse fra en kvalifisert person. Vurderingen er basert på informasjon fra leverandører som kan bekrefte mulighetene knyttet til deres produkter. Leverandøren *Protan*, som tilbyr ulike produkter for grønne- og blågrønne løsninger, har vertifisert de mulige poengene som kan oppnås ved bruk av produktet *BlueProof Green*, som er en type blågrønt tak (*Protan*, u.d.). Tabell 13 oppsummerer antatt innsamlede poeng i det alternative forslaget, sammenliknet med oppnådde poeng i den planlagte løsningen.

BREEAM-Nor 2016 teknisk manual v1.2			BREEAM-NOR v6.0 (2021)		
Emne:	Mulige poeng	Poeng innsamlet etter forslag	Emne:	Mulige poeng	Poeng innsamlet etter forslag
LE 01 Valg av tomt	3	2	LE 01 Valg av tomt	2	2
LE 02 Tomtens økologisk verdi	2	1	LE 02 Økologisk risiko og muligheter	2	1 + 1 (innovasjons-poeng)
			LE 03 Håndtering av påvirkning økologi	3	Ikke vurdert
LE 04 Forbedring av tomtens økologi	3	-	LE 04 Økologisk endring og forbedring	4	2
LE 05 Langsiktig påvirkning på artsmangfold	2	-	LE 05 Langsiktig økologisk forvaltning og vedlikehold	2	2
LE 06 Byggets fotavtrykk	2	-	LE 06 Klimatilpasning	1	Ikke vurdert
			LE 07 Flom og stormflo	2	Ikke vurdert
			LE 08 Lokal håndtering av overvann	3	2 + 1 (innovasjons-poeng)

Tabell 13: Sammenlikner poengene i BREEAM-NOR v1.2 og BREEAM-NOR v6.0. Tabellen viser både maksimalt oppnåelig antall poeng i hvert emne, og forventet innsamlede poeng i de to tilfellene. Kilde: (BREEAM-NOR, 2019) og (BREEAM-NOR, 2022)

### 11.2.1 LE-02 Økologisk risiko og muligheter

I dette emnet har *Castbergkvartalet* i utgangspunktet blitt tildelt ett poeng for kartlegging av økologisk verdi i henhold til relevante retningslinjer. Imidlertid kan anvendelsen av grønne- og blågrønne tak legge til rette for oppnåelse av det resterende poenget. Dette poenget omhandler identifisering av økologiske muligheter og beskrives på side 292 i BREEAM-NOR v6.0 (2022). Gjennom implementeringen av det blågrønne taket, spesifikt *Blueproof Green*, kan løsningen dokumenteres som rotbestandig etter TEK17. Ved bruk av ekstensive eller semi-intensive løsninger kan takene realisere de økologiske mulighetene på utbyggingsområdet.

Ved bruk av *Protan* blågrønt tak, *BlueProof Green*, vil overvannet håndteres direkte på taket, og i tillegg bidrar til blågrønnfaktor. Produktet tilpasset klimaendringene og fungerer som et tiltak mot flom, noe som kan gi oppnåelse for ett ekstra poeng for mønstergyldig nivå (BREEAM-NOR, 2022, s. 292).

### 11.2.2 LE 04 Økologisk endring og forbedring

Dersom den eksisterende økologien på tomten blir ivaretatt under byggefasen, kan det oppnås poeng i kategorien LE 04. Etter installasjon av sedum- og blågrønt tak, åpnes det for ytterligere muligheter for poenginnsamling. Med det alternative forslaget kan *Castbergkvartalet* sannsynligvis kunne oppnå minst ett poeng i denne kategorien. Dette er også et tiltak som er beskrevet som «et mulig tiltak» på (BREEAM-NOR, 2022, s. 309).

De resterende 3 poengene baseres på den prosentvise endringen i utbyggingsområdets økologiske verdi som følge av prosjektet. En slik vurdering utføres av en kvalifisert økolog. Ettersom økologien på tomten var minimal før utbygging forventes verdien å øke dersom ytterligere tiltak blir iverksatt. Ved valg av planter på taket kan det for eksempel velges beplantning som har betydning for fugl og pollinerende insekter, og helst kommer fra en lokal frøkilde (BREEAM-NOR, 2022, s. 309). Det blågrønne taket gir muligheten for beplantning av bær eller frukt, noe som vil ha positiv innvirkning på økologien på tomten.

For å maksimere økologien ytterligere, er det mulig å legge til rette for at dyr og insekter kan oppholde seg på taket. Dette kan oppnås ved å etablere skjulesteder og boliger, for eksempel fuglekasser eller insektshotell. Både beplantning av riktige plantearter og tilrettelegging for dyreopphold på taket er tiltak som enkelt kan implementeres og bidra til styrket økologi på tomten.

Ved iverksettelse av disse tiltakene kan det antas mulig å oppnå to poeng i denne kategorien. Det er potensielt rom for ytterligere poeng, men det nøyaktige antallet må vurderes av en kvalifisert person og er utfordrende å fastslå. I tillegg kan det oppnås ett innovasjonspoeng dersom en kvalifisert



økolog vurderer verdiøkningen og økningen viser seg å være en betydelig netto forbedring. Ettersom dette er så vanskelig å fastsette, regnes ikke dette poenget med i total scoren.

#### 11.2.3 LE 05 Langsiktig økologisk forvaltning og vedlikehold

Dersom forkravene er oppfylt i dette punktet kan det oppnås ett poeng ved implementering av tiltak for å forvalte og vedlikeholde økologien under hele prosjektet. Ved benytte utvalgte leverandører, som *Protan*, sikrer man ett poeng i dette aspektet. *Protan* tilbyr spesifikke drifts- og vedlikeholdstjenester for takløsningen. Utformingen av taket på *Castbergkvartalet* legger til rette for tilgang som muliggjør drift og vedlikehold av løsningen.

I tillegg kan det oppnås ett poeng dersom det utarbeides en forvaltningsplan for landskapet og økologien, som må gjelde for hele anleggets levetid. Disse poengene kan oppnås dersom de nødvendige forkravene er oppfylt.

#### 11.2.4 LE 08 Lokal overvannshåndtering

I emnet LE 08 Lokal overvannshåndtering har *Castbergkvartalet* potensial til å oppnå det første poenget, da sedumtaket og det blågrønne taket har kapasitet til å håndtere en nedbørsmengde på 5 mm uten utslipp se Vedlegg 1. Kriteriet gjelder spesifikt utbyggingsområdet, altså glasstaket. Flere produsenter av grønne- og blågrønne løsninger, inkludert leverandøren *Protan*, har dokumentert at produktene deres tilfredsstillt 5mm kriteriet.

Når det gjelder det neste poenget, som omhandler maksimal avrenningsmengde, er det blågrønne taket en godkjent løsning som oppfyller dette kravet. *BlueProof Green* blir prosjektert med nødvendig antall sluker og riktig utforming for å imøtekomme disse kravene, og vil dermed oppnå ett poeng.

For å oppnå det siste poenget, som omhandler tiltak for overflatebasert overvannshåndtering, må visse kriterier være oppfylt. For eksempel ville det vært mulig å oppnå poeng her dersom arealet av sedumtaket og det blågrønne taket utgjorde 70% av det totale takarealet på *Castbergkvartalet*. Imidlertid er ikke dette poenget oppnåelig med den alternative løsningen.

I tillegg til de totale tre poengene, kan løsningen også akkumulere poeng for mønstergyldig nivå dersom det gjennomføres helhetlig. Dette innovasjonspoenget er basert på den økologiske funksjonaliteten av tiltaket. Leverandøren *Protan* har bekreftet muligheten for poeng oppnåelse ved benyttelse av produktet *BlueProof Green*, dersom det etableres takhager eller biotoper med minst 20 arter pr 10m<sup>2</sup> (*Protan*, u.d.). Kriteriet forutsetter generelt en vesentlig økologisk funksjon.

### 11.3 Oppsummering av innsamlede BREEAM-poeng

I betraktning av de poengene som allerede er oppnådd i LE kapitlet, spesifikt LE 01 og LE 02, vil den totale poengsummen i LE-kategorien fremgå i Tabell 14. Tabellen illustrer totalt antall potensielle poeng som kan oppnås etter etablering av sedumtak og blågrønt tak på *Castbergkvartalet* i samsvar med BREEAM-NOR v6.0. Poeng oppnådd i LE 01 og LE 02 etter BREEAM-NOR v1.2, er også inkludert i den totale poengsummen, da innholdet i disse emnene er sammenfallende. Det ble derfor antatt at poengsummen i de to emnene vil tilsvare samme sum som tidligere.

BREEAM-NOR kategori	Oppnådde poeng	Tilgjengelige poeng	Tilgjengelige poeng oppnådd %	Kategori-vektlegging	Total prosent
Arealbruk og økologi	9	18	50%	0,17	8.5%
Innovasjon	2	10	20%	0,10	2%

Tabell 14: Oppsummerer poengene som kan antas å samles inn etter det alternative forslaget, og hvor mange prosent av totalsummen poengene representerer. «Total prosent» representerer hvor mye poengene bidrar i den sammenlagte vurderingen av hele manualen. (BREEAM-NOR, 2022, s. 285).

I kapitlet Arealbruk og økologi er det estimert at *Castbergkvartalet* kan oppnå totalt ni poeng. Dette utgjør en tredobling sammenliknet med den opprinnelige planen, der det kun ble oppnådd tre poeng. Den estimerte totalsummen representerer 50% av det totale antallet oppnåelige poeng i kapitlet. Det hadde imidlertid vært potensiale for ytterligere poenginnsamling dersom andre metoder for overvannshåndtering hadde blitt implementert i dette tilfellet. Eksempelvis ved konvertering av hele glasstaket til et blågrønt tak, som tidligere drøftet.

## 12. Konklusjon

Det planlagte forslaget som omhandler installasjon av fordrøyningsbasseng under bakken, har forbedringspotensialet når det kommer til akkumulering av BREEAM-poeng. Det kan implementeres alternative og mer bærekraftige tiltak for overvannshåndtering på tomten, som også kunne bidratt positivt på den økologiske verdien.

Når det gjelder overvannshåndteringen i den alternative løsningen, viser resultatene begrenset fordrøying og dermed liten effekt. Imidlertid vil sedumtaket og det blågrønne taket bidra til forbedring av økologien på tomten. Andre positive virkninger takene kunne hatt i et urbanisert område som Bergen sentrum, er forbedring av luftkvaliteten og temperatur regulering i byrommet. På grunn av takets kapasitet med tanke på fordrøyingsevne, må det sannsynligvis også installeres et

mindre fordrøyningsbasseng under bakken for håndtering av resterende overvannsavrenning. Kombinasjonen av disse metodene kan gi en tilstrekkelig kapasitet for overvannshåndtering på tomten.

Den alternative løsningen viste seg, basert på konstruksjonsberegningene, å være gjennomførbart med noen justeringer av takbjelkene. For tilstrekkelig kapasitet kan takbjelkene enten oppdimensjoneres eller forsterkes ved installasjon av strekkstag. Videre kan den alternative løsningen antas å bidra med flere oppnådde BREEAM-poeng i kapitlet «Arealbruk og økologi». Det ble estimert en total poengsum i dette kapitlet på ni poeng, og ytterligere to poeng for mønstergyldig nivå. Sammenliknet med den planlagte løsningen som ville oppnådd tre poeng i samme kapittel, viser resultatet en tredobling av poeng.

Dersom lysinnslipp gjennom glasstaket ikke hadde vært like viktig, ville forslaget heller basert seg på implementering av et blågrønt tak på hele området over atriet. Dette kunne ført til en betydelig forbedring av den totale poengsummen, med potensiale for å oppnå en høyere BREEAM klassifisering. Et blågrønt tak med et større areal kunne også bidratt til en betydelig forbedret overvannshåndtering på taket, og i kombinasjon med andre metoder kunne løsningen potensielt eliminert behovet for et fordrøyningsbasseng under bakken.

### 13. Forslag til videre arbeid

Det oppsto flere problemstillinger som ville vært interessante å undersøke nærmere. Eksempelvis å undersøke effekten ved implementering av et blågrøntak over hele takarealet til atriet. Videre, hvor mange BREEAM-poeng en slik løsning kunne oppnådd. Vurderingen av oppnådde BREEAM-poeng kunne i tillegg omfattet flere kapitler i BREEAM-manualen.

De økonomiske implikasjonene av den alternative løsningen kunne også vært en potensiell problemstilling. Ved å utføre en grundig analyse av økonomien som følge av tiltakene, gir det muligheten for få en mer nøyaktig måling av lønnsomheten.

Det ville også vært mulig å utføre en mer omfattende konstruksjonsmessig vurdering av takbjelkene, for å utvikle et mer nøyaktig resultat. Dette kunne inkludert stålplatenes evne til å motstå deformasjoner, samt en nærmere vurdering av takbjelkenes kapasitet. Videre beregninger av søyler kunne også blitt utført.

## 14. Referanser

- Aftenbladet*. (2021, 04 21). Hentet 03 10, 2023 fra Grønne tak for fremtidens klima er bare grønnvasking: <https://www.aftenbladet.no/meninger/debatt/i/bnPjng/groenne-tak-for-fremtidens-klima-er-groennvasking-av-byggeprosjektene>
- Bergen kommune*. (2005, 11 02). Hentet 01 10, 2023 fra Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj9qu7U2\\_T-AhVgRPEDHYtxDBAQFnoECAwQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.bergen.kommune.no%2Fapi%2Frest%2Ffiler%2FV74394&usg=AOvVaw0iUvPKSSNvIOFz84UyYTyZ](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj9qu7U2_T-AhVgRPEDHYtxDBAQFnoECAwQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.bergen.kommune.no%2Fapi%2Frest%2Ffiler%2FV74394&usg=AOvVaw0iUvPKSSNvIOFz84UyYTyZ)
- Bergen kommune*. (2015, 05 28). Hentet 02 06, 2023 fra Kommuneplanens samfunnsdel: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/bergen-2030>
- Bergen kommune*. (2019, 05 28). Hentet 01 23, 2023 fra Kommunedelplan for overvann: <https://www.bergen.kommune.no/politikere-utvalg/api/fil/1860089/Kommunedelplan-for-overvann>
- Bergenbyarkiv*. (2009). Hentet fra Bergen byleksjon: <https://www.bergenbyarkiv.no/bergenbyleksikon/bergens-historie>
- Bergenskart*. (u.d.). Hentet 01 17, 2023 fra KDP Overvann: <https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/#/bergenskart/apps/04ae4415f33c431e9810327c18a263a1/explore>
- Bergenskart*. (u.d.). Hentet fra Vann- og avløpskart: <https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/?fbclid=IwAR1l8vGuyyUTaprClgsx8kaxrb4ljEzdbLcf6lCYLONQDVJKhqVdSxWcXQQ#/bergenskart/apps/4b24e471e47a49108d75d14f5bd74512/explore>
- Bergenskart*. (u.d.). Hentet 01 17, 2023 fra KDP Overvann: <https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/#/bergenskart/apps/04ae4415f33c431e9810327c18a263a1/explore>
- Bergenskart*. (u.d.). Hentet 03 20, 2023 fra Vann- og avløpskart: <https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/?fbclid=IwAR1l8vGuyyUTaprClgsx8kaxrb4ljEzdbLcf6lCYLONQDVJKhqVdSxWcXQQ#/bergenskart/apps/4b24e471e47a49108d75d14f5bd74512/explore>
- Bergenskart*. (u.d.). Hentet 02 06, 2023 fra Byggesakskart: <https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/#/bergenskart/apps/0ed16e9ce36945b7af65d416d7dc7486/explore>
- Berghage, R. D. (2009, 01). *Green Roofs for Stormwater Runoff Control*. Hentet 05 13, 2023 fra Green Roofs for Stormwater Runoff Control: [https://www.researchgate.net/publication/230887778\\_Green\\_Roofs\\_for\\_Stormwater\\_Runoff\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/230887778_Green_Roofs_for_Stormwater_Runoff_Control)
- Bergknapp - Sedum og grønne løsninger*. (u.d.). Hentet 04 03, 2023 fra Blågrønt tak: [https://www.bergknapp.no/blagront?gclid=CjwKCAjwjYKjBhB5EiwAiFdSfjUj--c3Vv82hzTqtVp67BtSM5Ya\\_F7lMePViTFop9UgUHHWcrs0zRoCA2wQAvD\\_BwE](https://www.bergknapp.no/blagront?gclid=CjwKCAjwjYKjBhB5EiwAiFdSfjUj--c3Vv82hzTqtVp67BtSM5Ya_F7lMePViTFop9UgUHHWcrs0zRoCA2wQAvD_BwE)

- Bergknapp - Sedum og grønne løsninger.* (u.d.). Hentet 04 10, 2023 fra Lettjord:  
<https://www.bergknapp.no/lettjord>
- Bergknapp - Sedum og grønne løsninger.* (u.d.). Hentet 04 11, 2023 fra Grønne fordeler:  
<https://www.bergknapp.no/gronnefordeler>
- Braskerud, B. C. (2014). *Grønne tak og styrtregn.* Norges vassdrags- og energidirektorat. NVE. Hentet 04 05, 2023 fra Grønne tak og styrtregn:  
[https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014\\_65.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_65.pdf)
- Braskerud, B. C. (2016, 01). *Grønne tak for flomdemping.* Vann- og avløpsetaten. NVE. Hentet 03 10, 2023 fra Grønne tak for flomdemping: <https://www.nve.no/Media/5036/overvann-gr%C3%B8nne-tak-for-flomdemping.pdf>
- BREEAM-NOR. (2022, 02 28). *BREEAM-NOR v6.0 - Teknisk manual - SD5075NOR* (1.2. utg.). Grønn byggallianse. Hentet 04 24, 2023 fra Byggalliansen: [https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2022/03/BREEAM-NOR-v6.0\\_NOR.pdf?fbclid=IwAR3WbKDto0IVCJc7lKp4TxQh\\_1xfm71TE\\_hxaTODhDMu8OIGPu8nVoRhTis](https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2022/03/BREEAM-NOR-v6.0_NOR.pdf?fbclid=IwAR3WbKDto0IVCJc7lKp4TxQh_1xfm71TE_hxaTODhDMu8OIGPu8nVoRhTis)
- BREEAM-NOR. (2019, 06 18). *BREEAM-NOR 2016 for nybygg - Teknisk manual - SD5075NOR – Ver: 1.2* (1.2. utg.). Grønn byggallianse. Hentet 03 03, 2023 fra Byggalliansen: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>
- Byggforskserien.* (2012). Hentet 04 24, 2023 fra 311.015 Vann i by - håndtering av overvann i bebygde områder:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/2562/vann\\_i\\_by\\_haandtering\\_av\\_overvann\\_i\\_bebygde\\_omraader](https://www.byggforsk.no/dokument/2562/vann_i_by_haandtering_av_overvann_i_bebygde_omraader)
- Byggforskserien.* (2012, 05). Hentet 03 05, 2023 fra Løsning for lokal håndtering av overvann i bebygde områder:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/246/loesning\\_for\\_lokal\\_haandtering\\_av\\_overvann](https://www.byggforsk.no/dokument/246/loesning_for_lokal_haandtering_av_overvann)
- Byggforskserien.* (2013, 11). Hentet 03 14, 2023 fra Sedumtak:  
<https://www.byggforsk.no/dokument/4093/sedumtak>
- Direktoratet for byggkvalitet.* (u.d.). Hentet 03 02, 2023 fra Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/v/13-7>
- Fergus, T. Å. (2015, 01 12). Gjennomgang av avrenningsfaktorer. *Miljødirektoratet*, s. 18. Hentet 03 18, 2023 fra <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m293/m293.pdf>
- Fremstad, M. Ø. (2021). *Vannforeningen.* Hentet 04 07, 2023 fra Vannforeningen:  
<https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2021/03/Fremstad.pdf>
- Geofysisk institutt (UIB).* (u.d.). Hentet 03 18, 2023 fra Været i Bergen: <https://veret.gfi.uib.no/>
- Grønn byggallianse.* (u.d.). Hentet 05 02, 2023 fra Hvorfor sertifisere?:  
<https://byggalliansen.no/sertifisering/hvorfor-sertifisering/>
- Grønn byggallianse.* (u.d.). Hentet 05 01, 2023 fra Nysgjerrig på BREEAM-NOR?:  
<https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/>

- Hanslin, H. M., & Johannessen, B. G. (2019, 01 10). *miljodirektoratet.no*. Hentet fra Grønne tak som LOD- og miljøtiltak: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1153/m1153.pdf>
- Heggstad, R. R. (2023). *nedbørfelt*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/nedb%C3%B8rfelt>
- ihome techinfus*. (u.d.). Hentet 05 16, 2023 fra DIY installasjonsteknologi for glasstak: <https://ihome.techinfus.com/no/krupnye-konstrukcii/texnologiya-montazha-steklyanno-j-kryshi-svoimi-rukami/>
- Johannessen, B. G., Muthanna, T. M., & Braskerud, B. C. (2018, 05 23). *MDPI*. Hentet fra Detention and retention behavior of four extensive green roofs in three nordic climate zones: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/6/671>
- Jære, L. (2018, 09 11). SINTEF. *Vann på avveie koster mest*. Hentet 04 10, 2023 fra Vann på avveie koster mest: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2018/vann-pa-avveie-koster-mest/>
- Lovdata*. (1992, 07 3). Hentet fra Lov om kulturminner: <https://lovdata.no/lov/1978-06-09-50/§15>
- Lovdata*. (2022, 12 02). Hentet fra Lov om endringer i plan- og bygningsloven (reglar om handtering av overvatn i byggesaker mv.): <https://lovdata.no/dokument/LTI/lov/2022-12-02-87>
- Miljødirektoratet*. (u.d.). Hentet 02 21, 2023 fra Dagens og framtidens klima for Norge: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/klimatilpasning-krever-kunnskap/dagens-og-framtidens-klima/>
- Miljødirektoratet*. (u.d.). Hentet 04 08, 2023 fra Klimabegreper på norsk: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fns-klimapanel-ipcc/dette-sier-fns-klimapanel/klimabegreper-pa-norsk/>
- Miljødirektoratet*. (u.d.). Hentet 02 18, 2023 fra Overvann: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/overvann/>
- Miljødirektoratet*. (u.d.). Hentet 03 12, 2023 fra Vurder fare for forurensning og beslutt tiltaksbehov: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/for-myndigheter/overvannshandtering/kartlegg-fare-for-forurensning-og-tiltaksbehov/>
- Moelven. (2015, moelven). *Limtreboka - 2.2.5 Lastvirkning og lastkombinasjoner* (Limtreboka - 2.2.5 Lastvirkning og lastkombinasjoner. utg.). Norsk Limtreprodusenters Forening. Hentet 03 05, 2023 fra Moelven: [https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka\\_2015\\_el2.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf)
- Muthanna, T. M. (2020). *Byggeindustrien*. Hentet 04 08, 2023 fra Avrenningskoeffisienter passer dårlig for prosjektering av grønne tak: <https://static1.squarespace.com/static/54ff1c6be4b0331c79072679/t/5edf2320ba9bb73ad125e26f/1591681832421/Byggeindustrien+NTNU+2020+09+s23.pdf>
- NemiTek*. (2019, 07 16). Hentet 03 08, 2023 fra Overvannsledninger: <https://sanitar.nemitek.no/kapittel-35-sanitaerteknikk-prosjektering-og-utforelse-av-sanitaerinstallasjoner-i-bygg-stikkledninger/overvannsledninger/157088>
- Noreng, K. K. (2012). *Grønne tak*. SINTEF Byggforsk. Hentet 03 12, 2023 fra file:///C:/Users/helen/Downloads/V\_\_INFO\_PUB\_SINTEF-Bok\_pdf\_SB%20prapp%20104%20(1).pdf



- Norges Geologiske Undersøkelse.* (u.d.). Hentet 01 20, 2023 fra Håndtering av overvann:  
<https://www.ngu.no/geologiske-ressurser/handtering-av-overvann>
- Norges Geologiske Undersøkelse.* (u.d.). Hentet 01 18, 2023 fra Geologiske kart:  
<https://www.ngu.no/emne/kart-pa-nett>
- Norges Geologiske Undersøkelse.* (u.d.). Hentet 02 03, 2023 fra Berggrunn:  
[https://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/)
- Norgeskart.* (u.d.). Hentet 02 03, 2023 fra  
<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=4&lat=7107146.00&lon=215286.00>
- Norsk Klimaservicesenter.* (u.d.). Hentet 04 10, 2023 fra Hjelp til valg av IVF:  
<https://klimaservicesenter.no/kss/vrdata/ivf-veiledning>
- Norsk Klimaservicesenter.* (u.d.). Hentet 04 09, 2023 fra Nedbørintensitet (IVF-verdier):  
<https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN50480>
- (2015: 16, 12 02). *NOU.* Oslo: Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon. Hentet 02 06, 2023 fra  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf>
- Paus, K. H. (2018). *Vannforeningen.* Hentet 04 11, 2023 fra Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann:  
<https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/07/Paus.pdf>
- Protan.* (u.d.). Hentet 03 24, 2023 fra BlueProof overvannshåndtering: <https://www.protan.no/tak-og-membraner/produkter/overvannshandtering-pa-tak/blueproof-overvannshandtering/>
- Protan.* (u.d.). Hentet 03 20, 2023 fra Ekstensive grønne tak: <https://www.protan.no/tak-og-membraner/produkter/ballasterte-taksystem/ekstensive-gronne-tak/>
- Protan.* (u.d.). Hentet 03 21, 2023 fra Dette taket vil endre fremtidens byggebransje:  
[https://www.protan.no/tak-og-membraner/prosjekter/vega\\_scene/](https://www.protan.no/tak-og-membraner/prosjekter/vega_scene/)
- Protan.* (u.d.). Hentet 04 10, 2023 fra BREEAM-NOR 6.0: <https://www.protan.no/tak-og-membraner/sustainability/breeam-nor/breeam-nor-6.0/?fbclid=IwAR3ivwCCZs-pLdGfXeX8MlawPoSgzL-IXO6Znh9AAVeFbUanZXcCmw5fX9o>
- Regjeringen.* (2021, 10 19). Hentet 02 01, 2023 fra Kulturhistoriske bygninger og bygningsmiljøer: Kulturhistoriske bygninger og bygningsmiljøer - [regjeringen.no](http://regjeringen.no)
- Rehabilitering av Castbergkvartalet.* (2022, 01 20). Hentet 01 09, 2023 fra VestenFjeldske Eiendom:  
<https://www.vfeiendom.no/aktuelt/castbergkvartalet/>
- ResearchGate.* (u.d.). Hentet 03 10, 2023 fra Types and Characteristics of Green Roofs:  
[https://www.researchgate.net/figure/Types-and-Characteristics-of-Green-Roofs-IGRA-2008\\_fig2\\_315693497](https://www.researchgate.net/figure/Types-and-Characteristics-of-Green-Roofs-IGRA-2008_fig2_315693497)
- (2020, 12 02). *Riksantikvaren.* Hentet 05 03, 2023 fra Riksantikvaren:  
<https://www.riksantikvaren.no/sintef-rapport/>

- SINTEF. (2021, 12 20). Hentet 03 12, 2023 fra Unngå byggskader på glasstak:  
<https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/unnga-byggskader-pa-glasstak/>
- Standard, N. (2015). *Grønne tak Planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drift ekstensive tak - NS3840:2015*. Hentet fra  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=790391>
- (2014). *TEKNISK Ingeniørvesenet*. Hentet 03 10, 2023 fra <https://www.va-norm.no/wp-content/uploads/2016/08/Beregning-av-overvannsmengder.pdf>
- VA forum. (u.d.). Hentet 03 06, 2023 fra Tre trinn til tryggere overvann: <https://vaforum.no/vaforum-artikler/tre-trinn-til-tryggere-overvann/>
- VA/Miljøblad. (2009, 11). *Overflateinfiltrasjon*. Hentet 03 08, 2023 fra Overflateinfiltrasjon:  
[https://www.tonsberg.kommune.no/\\_f/p1/i839884c0-121e-4463-bed6-4633a4ffae0a/va-miljoblad-nr-92-overflateinfiltrasjon.pdf](https://www.tonsberg.kommune.no/_f/p1/i839884c0-121e-4463-bed6-4633a4ffae0a/va-miljoblad-nr-92-overflateinfiltrasjon.pdf)
- VA/Miljøblad. (2012). *Fordroyning av overvann*. Hentet 03 03, 2023 fra VA/ Miljø Blad:  
[https://www.tonsberg.kommune.no/\\_f/p1/ibc165ee7-fa76-4346-a7c4-39f6a0d55948/va-miljoblad-nr-104-fordroyning-av-overvann.pdf](https://www.tonsberg.kommune.no/_f/p1/ibc165ee7-fa76-4346-a7c4-39f6a0d55948/va-miljoblad-nr-104-fordroyning-av-overvann.pdf)
- VA/Miljøblad. (2013). *Grønne tak*. Hentet 04 11, 2023 fra Grønne Tak:  
[https://www.tonsberg.kommune.no/\\_f/p1/i9dc4faab-463b-40eb-805b-29da31fd289e/va-miljoblad-nr-107-gronne-tak.pdf](https://www.tonsberg.kommune.no/_f/p1/i9dc4faab-463b-40eb-805b-29da31fd289e/va-miljoblad-nr-107-gronne-tak.pdf)
- VA/Miljøblad. (2013). *Grønne tak*. Hentet 04 11, 2023 fra Grønne Tak:  
[https://www.tonsberg.kommune.no/\\_f/p1/i9dc4faab-463b-40eb-805b-29da31fd289e/va-miljoblad-nr-107-gronne-tak.pdf](https://www.tonsberg.kommune.no/_f/p1/i9dc4faab-463b-40eb-805b-29da31fd289e/va-miljoblad-nr-107-gronne-tak.pdf)

## 15 Vedlegg

Vedlegg 1: Beregninger for dimensjonerende overvannsmengder

Vedlegg 2: Dimensjonering av bjelker