



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Endringer i lastbildet og overvann ved å se på alternative takløsninger.

The changes in load distribution and stormwater runoff by considering alternative roof solutions.

Krister Djuve Arnesen, Markus Lund Neresen og

Sondre Pettersen

Byggingeniør Bachelor

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder Irene Holvik Johnsen

16. Mai 2023

Jeg 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

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet våren 2023 av tre byggingeniørstudenter, Markus Lund Neresen, Sondre Pettersen og Krister Djuve Arnesen ved Høgskulen på Vestlandet (HVL) i Bergen. Oppgaven er vårt avsluttende arbeid for bachelorgraden. Markus går konstruksjonsteknikk, Sondre går prosjekt og byggeledelse med miljø plan og infrastruktur (MPI) som sin spesialisering og Krister går prosjekt og byggeledelse med konstruksjonsrettet retning. Da alle tre har litt forskjellige veivalg, så ønsket vi å finne en oppgave som gikk på tvers av erfaringer og kunnskap. Gruppen så for seg en oppgave med en konstruksjons- og en VA-del.

I søken etter oppgave tok Krister kontakt med egen arbeidsgiver Helgesen Tekniske Bygg AS (HTB). HTB hadde ingen oppgaver planlagt eller liggende, men var villig til å stille med prosjekter. De la frem tre prosjekter de mente var aktuelle med konstruksjonstekniske og vannrelaterte utfordringer og beregninger.

Gruppens valg falt på PostNord Endelausmarka. Valget baserte seg på hva gruppemedlemmene hadde sett for seg å jobbe med. Prosjektet innehar store flater som gjør at overvannshåndtering vil bli høyst aktuelt, samt en konstruksjon som kan sees nærmere på. Videre ble utfordringen å finne hva som skulle gi et grunnlag for å utføre og gjøre beregninger på bygget. Det ble gjort enighet om at en endring i taktype til alternativ grønn takløsning ville føre med seg både konstruksjons og vann beregninger.

Vi ønsker å takke Helgesen Tekniske Bygg AS som stilte opp med et prosjekt vi fikk tilgang til og kunne utarbeide en oppgave rundt. Vi vil også takke vår opprinnelige veileder Irene Holvik Johnsen for jevnlig møter, oppfølginger, og god hjelp. Videre vil vi også å rette takk til eksterneveileder Ingrid Vatne som overtok VA veiledning etter Irene. Til slutt en stor takk til Trond Einar Martinsen og Jan Bernt Husebø for deres veiledning i konstruksjonsdelen av oppgaven, for gode innspill og god oppfølging ved behov.

Bergen, 16 mai 2023

Sammendrag

Denne oppgaven skal undersøke hvorvidt et grønt tak kan legges på et eksisterende lagerbygg utenfor Bergen, og utforske hvilke fordeler eller ulemper en slik løsning bringer med seg. Vi har utført beregninger på eksisterende konstruksjon for å se hvilke kapasiteter som er til stede. Deretter vurdere hvordan konstruksjonen eventuelt kan endres eller forbedres for å håndtere den ekstra belastningen fra et grønt tak. Videre sees det på hvilke typer grønt tak som er mest hensiktsmessig å anvende.

Byggets oppbygning består av betongfundamenter støpt i grunnen med en påmontert stålkonstruksjon som utgjør det innvendige skjelettet. Betongbrystning og sandwichelementer utgjør ytterveggene opp til en parapetavslutning samt et flatt innvendig tak.

For beregninger har vi benyttet flere forskjellige programvarer og håndberegninger. Valgene vi har tatt er blitt gjort i henhold til standarder som brukes for dimensjonering av konstruksjoner og overvann. Grunnlaget for beregningene er eksisterende tegninger og dokumenter. Grønne tak er et tema som blir mer aktuelt ved utbygging og urbanisering. I flere byer i Norge og i verden stilles det nå større krav til beskrivelse samt dokumentasjon av løsninger som skal håndtere fremtidig og mer ekstreme værtyper. Derav har vi valgt denne problemstillingen for å kunne videre utforske dette temaet.

Ettermontering av grønt tak er relevant i forhold til dagsaktuell tematikk om bevaring av biomangfold og bedre utnyttelse av arealer. Grønne tak kan gi en rekke fordeler i form av reduksjon i avrenning, økt levetid på taket, demping av støy og positiv innvirkning på trivsel og helse. Imidlertid kan ettermontering være utfordrende på eksisterende konstruksjoner da det påføres ekstra laster, noe bygget ikke nødvendigvis er prosjektert for.

Det er viktig å ta hensyn til både fordeler og ulemper ved ettermontering av grønne tak, samtidig vurdere alternative løsninger for å sikre at konstruksjonens kapasitet ikke overskrides. Videre er det stor usikkerhet i avrenningstall, dette gjør det vanskelig å beregne utbytte for en grønn takløsning.

Rapporten konkluderer med at ettermontering av en grønn takløsning på PostNord Endelausmarka ikke er lønnsomt eller gjennomførbart for det oppførte bygget. Dette skyldes begrensninger i kapasitetene, lav forskjell i avrenning og økte kostnader. I stedet bør en grønn takløsning prosjekteres inn i tidligfasen.

Abstract

This study aims to investigate the feasibility of installing a green roof on an existing warehouse outside Bergen, and explore the potential benefits or drawbacks of such a solution. We conducted calculations on the existing structure to determine its capacity and assess how it could be modified or improved to handle the additional load of a green roof. Additionally, we examined which types of green roofs would be most suitable to use.

The building is constructed on a foundation of concrete footings, with an attached steel frame serving as the internal skeleton. The exterior walls consist of concrete walls and sandwich panels up to a parapet finish, as well as a flat interior roof.

To perform the calculations, we utilized different software programs and manual calculations. Our choices were based on standards used for structural design and stormwater management. The basis for our calculations was the existing drawings and documents. Green roofs are becoming increasingly relevant in the context of urban development and expansion. In several cities in Norway and around the world, there are now greater demands for descriptions and documentation of solutions that can handle future and more extreme weather conditions. Therefore, we chose this research question to further explore this topic.

The retrofitting of green roofs is relevant in relation to current issues of biodiversity conservation and better utilization of land. Green roofs can provide a range of benefits such as reducing runoff, increasing the lifespan of the roof, dampening noise, and having a positive impact on well-being and health. However, retrofitting can be challenging on existing structures as it adds extra loads that the building may not have been designed for.

It is important to consider both the advantages and disadvantages of retrofitting green roofs, while also evaluating alternative solutions to ensure that the capacity of the structure is not exceeded. However, there is significant uncertainty in runoff figures, which makes it challenging to calculate the yield for a green roof solution.

The report concludes that retrofitting a green roof solution at PostNord Endelausmarka is not profitable or feasible for the building due to limitations in capacity, low difference in runoff, and increased costs. Instead, a green roof solution should be designed into the early stages of the construction process

Innhold

Sammendrag	2
Abstract	3
Figurliste	6
Tabelliste	7
Formelliste.....	7
1.Innledning.....	8
1.2 Problemstilling.....	9
1.3 Avgrensninger for oppgaven	9
1.4 Metode	10
1.4.1 Data fra Endelausmarka	10
1.4.2 Litteratur.....	11
1.4.3 Norsk standard	11
1.4.4 Autodesk REVIT 2023	12
1.4.5 Lastberegning – Ove Sletten programvarer	12
1.4.6 Maku stål AS – online dimensjonerings program.....	12
1.4.7 Mathcad Prime 9	13
2.Teori.....	13
2.1 Grønne tak.....	13
2.1.1 Hva er grønne tak	13
2.1.2 Typer tak.....	13
2.1.3 Oppbygging.....	15
2.1.4 Hvorfor det brukes	16
2.1.5 Fordeler og ulemper	17
2.2 Brann	18
2.2.1 Forebyggende brannsikkerhet	18
2.3 Tretrinns strategi	20
2.3.2 Lokal overvannsdiskonering	21
2.3.3 Kommuneplanens Arealdel (KPA)	21
2.3.4 Blågrønn faktor.....	21
2.3.5 Den rasjonelle formelen	23
2.3.6 Usikkerheter med den rasjonelle formelen	25
2.3.7 Konsentrasjonstid.....	25
2.3.8 Beregninger	26
3.Lastgrunnlag	27

3.1 Statisk system	27
3.2 Lastfaktorer	28
3.3 Konstruksjonens lastgrunnlag	29
4.Egenlast	29
5.Snølast	30
5.1 Bestemmelse av snølast	30
5.2 Snølast Endelausmarka.....	32
5.3 Kontroll OS-prog– Snølast	33
6.Vindlast.....	33
6.1 Vindkasthastighetstrykk	34
6.2 Ingen topografi effekt.....	35
6.3 Med topografieffekt	35
6.4 Formfaktor etter EC.....	38
6.5 Vindlast Endelausmarka	39
6.6 Vindretning sørvest	40
6.7 Forenklet vindberegning	41
6.8 Dimensjonerende vindkasthastighetstrykk.....	42
7.Kapasitetskontroll.....	43
7.1 Sammenføyninger	43
7.2 Søyle	43
7.3 Knekk lengde	44
7.4 Knekking	44
7.5 Vipping.....	45
7.6 Kombinert knekking og vipping	46
7.7 Fagverksbjelker.....	46
8.Resultater	47
8.1 Grønt tak.....	47
8.2 Konstruksjonen.....	48
9.Diskusjon	50
10.Konklusjon	51
Videre arbeid	52
Kildeliste	53

Figurliste

Figur 1 Oversikt Endelausmarka Skjermdumper fra Revit	8
Figur 2 Avgrensning, skjermtklipp fra Revit	10
Figur 3 Ekstensive tak, Cley Nature Reserve Norfolk. ImageQuest.....	14
Figur 4 Takhage, ImnageQuest.....	14
Figur 5 KI generert, https://www.canva.com	14
Figur 6 Illustrasjon av oppbygning, skjermtklipp fra [2].....	15
Figur 7 Illustrasjon seksjonering og avstander, [2].....	18
Figur 8 Oppbygning seksjonering, [2].....	19
Figur 9 Illustrasjon tretrinns strategi, [10].....	20
Figur 10 IVF-kurve og tabell, [18]	24
Figur 11 Illustrasjon avgrenset del av bygget. Skjermdump fra Revit.....	27
Figur 12 Illustrasjon av det statiske systemet. Skjermdump Revit.....	28
Figur 13 Forenklet tabell NA. A1.2(B), utklipp opplæringsmateriell v/HVL	28
Figur 14 Illustrasjon og Tabell formfaktor for snølast, [24].....	30
Figur 15 Oversiktskart, Kartutklipp fra Norgeskart, [26].....	32
Figur 16 Illustrasjon for økning av stedsvind over åser og skråninger, [25].....	36
Figur 17 Parametere for vinkel mellom 30° og 40°, [21].....	37
Figur 18 Parametere for vinkel større enn 40°, [21]	37
Figur 19 Formfaktor for flate tak, EC1-4.....	38
Figur 20 Avstand til glatt sone, [26]	39
Figur 21 Avstand glatt sone Sørvest, [26].....	40
Figur 22 Terrengprofil nærmeste ås, [26 egenmodifisert].....	41
Figur 23 Søyle som beregnes, Skjerdump Revit	43
Figur 24 Illustrasjon, innfestning før/etter gulvstøp, skjermdump fra video [27].	44
Figur 25 Illustrasjon av innfestning og fastholding topp søyle.....	45
Figur 26 Maku dimensjoneringsprogram, Skjermdump Maku nettside [17].....	46
Figur 27 Beregning vannføring, utklipp Excel.....	47
Figur 28 Illustrasjon av alternativ løsning til bæresystem, skjermdump Revit	49

Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over standarder med forkortelser.....	12
Tabell 2 Vekstmedium for ulike plantetyper, [6]	16
Tabell 3 Blågrønn faktor, [16].....	22
Tabell 4 Avrenningsfaktor, [13].....	23
Tabell 5 VA-miljøblad, [14].....	26
Tabell 6 Verdier for Ψ -faktor, [5].....	29
Tabell 7 Parametere OS-prog	33
Tabell 8 Krav byggested i le av mindre bratt terreng.....	37
Tabell 9 Parametere for vindberegning OS-prog	40
Tabell 10 Parametere forenklet vindberegning	42
Tabell 11 Alternative avrenningskoeffisienter, [13].....	48

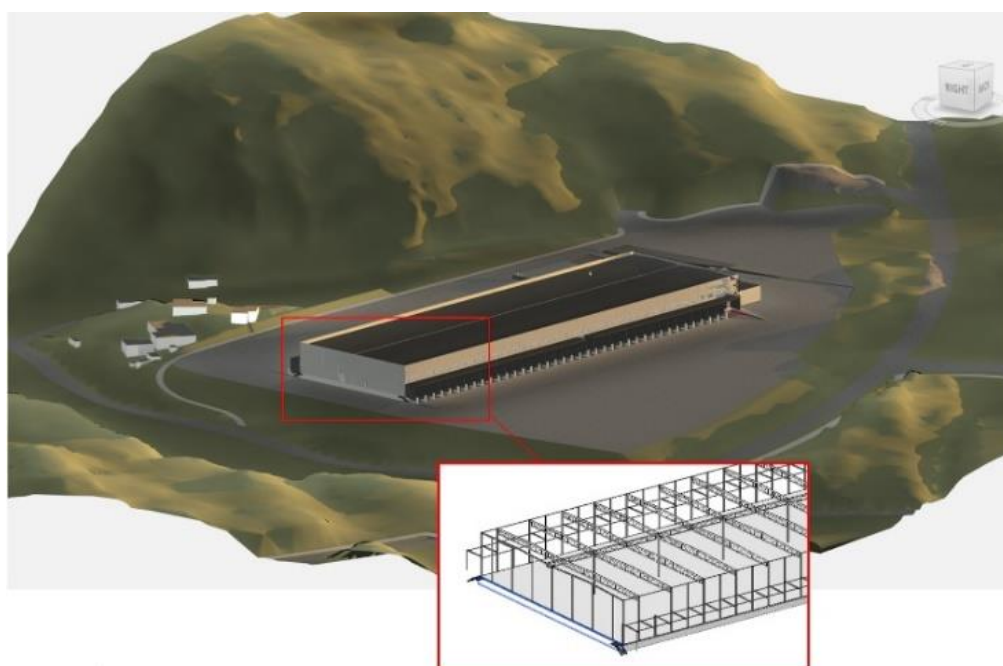
Formelliste

Formel 1 Økologisk effektivitet, [16].....	22
Formel 2 Den rasjonelle formel, [17]	23
Formel 3 Snølast på tak, [24].....	30
Formel 4 Forenklet snølast.....	31
Formel 5 Vindkasthastighetstrykk, [25]	34
Formel 6 Basisvindhastighet, [25]	34
Formel 7 Stedsvindhastighet, [25]	34
Formel 8 Turbulensintensitet, [25].....	35
Formel 9 Terrengformfaktor, [25].....	36

1. Innledning

PostNord bygget er lokalisert like utenfor Osøyro i Bjørnefjorden kommune sør for Bergen. Området var tidligere preget av skog, myr og spredt boligbebyggelse, men inneholder nå ny E39 og noen næringstomter. Bygget er et nybygg som i dag huser PostNord sin distribusjon og pakkehåndtering sentral. E39 Rådal-Svegatjørn er bygget gjennom Endelausmarka og passerer like ved, dette gjør plasseringen av bygget logistikkmessig fornuftig.

Industribygg er en viktig og sentral del av samfunnet, disse spiller en stor rolle både i produksjon og distribusjon av varer samt arbeidsplasser [1]. Byggene har gjerne stor utbredelse, dekker store arealer og store takflater. Når skog og myrområder dekkes av lite permeable flater må overvannet fordelaktig fordrøyes for ikke å overbelaste avløpssystemet. Tradisjonelle takløsninger på industribygg har i sin utforming og design ingen evne til å holde igjen eller fordrøye nedbør som faller på taket. Når takene ikke holder igjen nedbørsmengdene kan det føre til oversvømmelser, i tillegg til skader på bygg og infrastruktur.



Figur 1 Oversikt Endelausmarka Skjermdumper fra Revit

En mulig løsning for effektiv håndtering og fordrøyning av overvann er alternative grønne takløsninger [2]. Takene består av et grønt dekke med planter og vegetasjon som bidrar til å absorbere, fordrøye og fordampe nedbør. En slik løsning vil bidra til å øke den blågrønne faktoren og være med på å håndtere større nedbørsmengder i fremtiden.

Det blir sett nærmere på hvordan en endring i takløsning kan være med på å påvirke lastbildet og overvannshåndteringen for næringsbygget. Videre undersøkes det hvordan alternative grønne takløsninger kan bidra til å redusere belastningen på eksisterende va-infrastruktur og samtidig gi positive effekter for miljøet.

Før en grønn takløsning kan monteres på en eksisterende konstruksjon, må det først undersøkes om lastene overskrider konstruksjonens bæreevne. Dersom beregningene viser at den eksisterende konstruksjonen ikke håndterer lastene, vil det presenteres et forslag til en konstruksjon som kan bære lasten. Beregningene kan benyttes som et utgangspunkt for en videre forprosjektering dersom HTB mottar en tilsvarende forespørsel i fremtiden.

1.2 Problemstilling

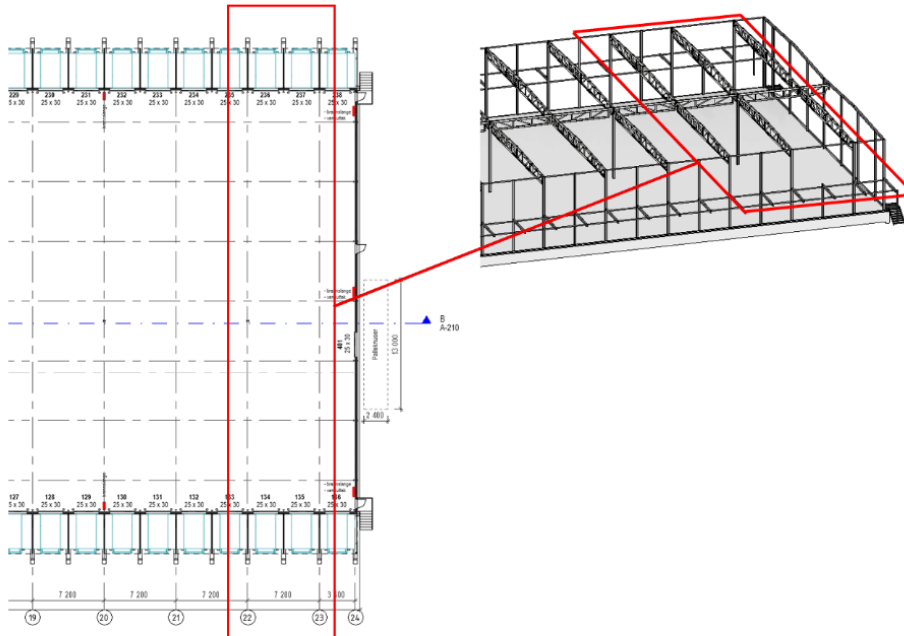
Hva blir endringen i lastbildet og overvannshåndteringen dersom det implementeres en grønn takløsning?

Formålet med oppgaven er å undersøke endringer i lastbildet og overvann ved å se på alternative takløsninger. Det vil også bli presentert ulike løsninger for konstruksjonen.

1.3 Avgrensninger for oppgaven

Konstruksjonsdelen av oppgaven er avgrenset til tredje- og nest siste akse i den sør øst vendte delen av bygget. Valget gjøres ettersom resten av bygget er en blåkopi av denne delen. I nevnte akser vil lastene og påkjenningene på bygget være størst. Dersom konstruksjonen tåler påkjenningene her, vil den også holde for resten av bygget. Håndberegninger beregnes etter forenklet metode som har blitt undervist ved HVL, disse vil være til sikker side for lastbildet.

Det er utelukkende sett på egenlasten til taket, og ikke til takstoler eller bjelker da disse er neglisjerbare. Egenlast for taket er hentet fra dokumentene HTB har delt, se vedlegg A.1. Nødvendige kontroller av bæresystemet er foretatt etter forenklet metode.



Figur 2 Avgrensning, skjermtklipp fra Revit

1.4 Metode

I rapporten er lagt vekt på innhenting av data og teori, utført håndberegninger, kontroller i forhold til Norsk Standard, VA-miljøblad, Eurokoder (EC) og brukt forskjellige programvarer.

1.4.1 Data fra Endelausmarka

Det ble gitt tilgang til HTB sine filer og dokumenter for prosjektet, hovedsakelig ble forutsetninger for prosjekterings dokumentet brukt, se vedlegg A.

Bygget ligger i Bjørnefjorden kommune, med en takflate på 7812m^2 og et område rundt som i hovedsak er asfaltert. I området er det lite infrastruktur og bebyggelse, resterende er skog og fjell. I HTB sine notater om overvann, spesifiseres det at en egen VA-rammeplan ikke vil bli laget. Det ble heller laget et notat med prinsipper for hvordan overvannet skulle håndteres [3].

Konklusjonen i notatet for avrenning på tomten, er at denne skal holdes på samme nivå som før utbygging, dette blir da 350 l/s. i tråd med den rasjonelle formelen beregnes det 189000 liter

magasin, se vedlegg B.1. Dette blir løst med fordrøyningsanlegg med sandfang. Sandfanget er til stede for å kunne begrense forurensing.

1.4.2 Litteratur

Teoridelen er basert på aktuell faglitteratur, herunder VA-miljøblad, Byggforskserien fra SINTEF, fagstoff for grønne tak samt artikler og datablader fra leverandører.

For å sikre kredibiliteten til kilder, ble søkene avgrenset til anerkjente databaser som Engineering Village, Oria, og HVL Open. Evaluering av forfatternes akademiske bakgrunn og profesjonelle erfaring ble undersøkt, samt kontrollert for subjektivitet og kildeevaluering. Det ble tatt hensyn til om materialet var blitt brukt som kilde eller sitert i andre fagartikler og tok hensyn til publikasjonsdatoen for å sikre at informasjonen oppdatert. Fagfellevalgte artikler ble prioritert da disse er blitt evaluert av eksperter og er mer sannsynlig til å være av høy kvalitet. Kriteriene ble anvendt for å best mulig samle informasjon om det valgte temaet.

1.4.3 Norsk standard

«Eurokoder er en felles europeisk serie med standarder for prosjektering av byggverk og dokumentasjon av produkters bæreevne/styrke til konstruksjonsformål ...» [4]. «Eurokodene gir felles regler, som kan brukes i det daglige prosjekteringsarbeidet, for prosjektering av komplette konstruksjoner eller av konstruksjonsdeler, og som er av både tradisjonell og innovativ karakter» [5].

I tillegg til eurokodene finnes det nasjonale tillegg, disse er tilrettelagt norske forhold og forutsetninger (NA). Under finner du en tabelloversikt over standardene tatt i bruk for kontrollberegning og dimensjonering av konstruksjonen.

Forkortelsene vist i tabell 1 vil brukes videre gjennom oppgaven.

Betegnelse	Tittel	Forkortelse
NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016	Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner	EC
NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008	Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-3: Allmenne laster – Snølaster	EC1-3
NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009	Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster	EC1-4
NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2021	Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger	EC2
NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015	Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger	EC3
NS-EN 3840:2015	Grønne tak – Planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drift – Ekstensive tak	NS 3840

Tabell 1 Oversikt over standarder med forkortelser

1.4.4 Autodesk REVIT 2023

Revit brukes til å designe, dokumentere, målsette, visualisere og levere prosjekter innen arkitektur, teknikk og konstruksjon [6]. Dataprogrammet gjør det mulig for ulike faggrupper å sette sammen en informasjonsrik og detaljert fremstilling av prosjektet. Modellen fra HTB er brukt som en visuell fremstilling med mulighet for å hente ut informasjon om bygget.

1.4.5 Lastberegning – Ove Sletten programvarer

Programmet brukes til å beregne og kontrollere håndberegningene foretatt for snølast og vindlast. Snølasten på konstruksjonen beregnes etter EC1-3. Ove Sletten programmer, bedre kjent som OS-prog, baserer beregningene på enkle parametere, geografisk plassering og takets utforming. Vindlasten blir beregnet etter EC1-4. Hvor man i OS-prog definerer generelle parametere for byggeområdet, som gir grunnlaget for beregningene.

1.4.6 Maku stål AS – online dimensjonerings program

Maku Stål har på sin nettside et dimensjoneringsprogram som finner fagverksbjelke basert på forutsetningene for bygget. Det inkluderer type fagverk, takhelling, spennvidde og dimensjonerende last med egne parametere, se vedlegg D.4.2.

1.4.7 Mathcad Prime 9

Programmet benyttes hovedsakelig av ingeniører til utregning av tekniske beregninger. Mathcad fungerer slik et regneark gjør, hvor man enkelt kan definere formler og variabler. Definerte parametere endres når hele dokumentet oppdateres, noe som gjør det enkelt og effektivt å bruke.

Mathcad brukes for å føre håndberegninger på en systematisert og oversiktlig måte. I tillegg fungerer det som sidemannskontroll av håndberegningene og beregningene fra OS-prog.

2. Teori

2.1 Grønne tak

2.1.1 Hva er grønne tak

Grønne tak er helt eller delvis dekkede tak med vegetasjon som gress, små planter, trær eller sedumarter. Denne byggemetoden er ikke ny og har blitt brukt i Norge over lengre tid.

«Taktekking med torv og gress går hundrevis av år tilbake i norsk byggeskikk» [7].

Grønne tak kan bidra som små grønne lunger i et urbant område, være positivt for biomangfold, hjelpe med overvannshåndtering og fungere som hage. Videre kan grønne takløsninger være et tiltak for å fange opp CO₂ eller binde støv i luften. Slike fordeler kan være høyst aktuelt i et industriområde slik vi ser på [2].

2.1.2 Typer tak

Levetiden til grønne tak kan variere fra 40 til 50 år. Det eldste kjente grønne taket har stått i Berlin i 90 år. Sammenlignet med vanlige tak, som vanligvis har en levetid på rundt 10-20 år, varierer mengden vedlikehold avhengig av hvilken type grønt tak det er [8].

Grønne tak er hovedsakelig delt inn i tre hovedtyper [9]:

- Intensive grønne tak, som takhager, består av enkle planter, busker og i noen tilfeller trær. Denne løsningen har høyest vekt per kvadratmeter og krever en del vedlikehold.
- Ekstensive grønne tak har tynnere vekstlag og er ofte beplantet med sedumarter og mose. Denne typen krever svært lite vedlikehold og har den laveste vekten per kvadratmeter.
- Semi-intensive grønne tak er en blanding av de to tidligere nevnte typene, og torvtak er et godt eksempel på en semi-intensiv løsning [7]. Ekstensive tak plantes i hovedsak med sedumplanter i bergknappfamilien (*Crassulaceae*), men også mose og lignende planter som er små og tørketålende blir brukt. Denne taktypen viser seg best egnet til bruk ved ettermontering (retrofitting) på et eksisterende tak. Grunnen til at denne egner seg bedre er at sedum ol. arter krever mindre vekstslag. Vekstlagets høyde ligger på omlag 30-90 mm og vekten ligger mellom 50-90 kg/m² om den er umettet eller mettet med vann [2].

I motsetning tar de intensive og semi intensive takene i bruk større plantetyper som gress og stauder disse krever tykkere vekstlag. Tykkelsen på vekstlaget varierer, men ligger omkring 150–400 mm som gjør at vekten også øker og varierer fra 240 til 800 kg/m², avhengig om busker og trær benyttes [2], [7].



Figur 5 KI generert, <https://www.canva.com>



Figur 4 Ekstensivt tak, Cley Nature Reserve Norfolk. ImageQuest.



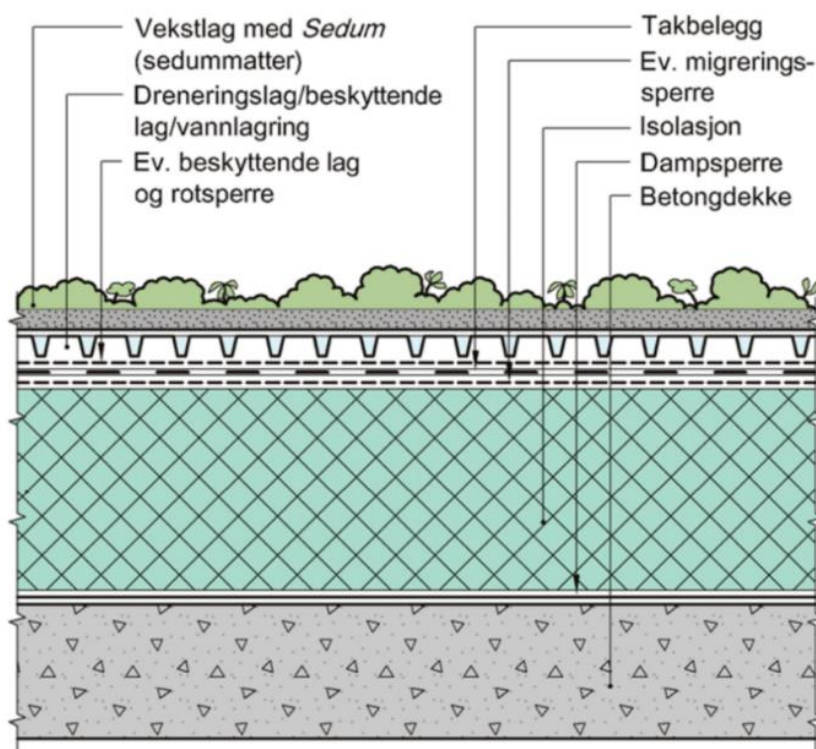
Figur 3 Takhage, ImageQuest.

Takhager vil i praksis kun anlegges på nybygg tilpasset bruk og vekt, de krever også mer skjøtsel en ekstensive tak for å vedlikeholdes og bevares [2], [10].

Intensive og semi-intensive tak er mest attraktive der taket benyttes til opphold og fungerer som en takhage for eventuelle beboere eller brukere av bygget. Taket til PostNord bygget er ikke hensiktsmessig å benytte til opphold. Det mest aktuelle vil derfor være å benytte en ekstensiv takløsning. En slik takkonstruksjon vil også være mer aktuell i forhold til ettermontering, dette grunnet lav vekt.

Ved valg av grønn takløsning for et bygg, er det flere faktorer som spiller inn. Konservativt er det tatt utgangspunkt i en vedlikeholdsfri løsning, derav sees det nærmere på en ekstensiv takløsning. Samtidig er bygget ikke prosjektert for denne typen taklast og en må derfor være bevisst på tilleggslasten [2].

2.1.3 Oppbygging



Figur 6 Illustrasjon av oppbygging, skjermutklipp fra [2]

Taket består av flere lag. Nederst er det en vanntett membran etterfulgt av et dreneringslag, jordlag og vegetasjonslag. Den vanntette membranen beskytter bygget mot vannskader. Dreneringslaget lar overflødig vann bli absorbert og filtrert før avrenning. Jorden gir vekstlag for plantene på toppen. Helhetlig dannes en sammensetning som bidrar til redusert vannføring og økt fordrøyning [2].

Plantetype	Beskrivelse	<70mm	≥70mm
Sedum	Ulike slekter og arter fra Bergknappfamilien (Sedum, Phedimus, Hylotelephium med flere, se tillegg C, andre sukkulenter.	Godt egnet	Egnet
Gras	Tørketåle gress egnet for vokseplass og forhold. Grasartene skal ha en vokseform som ikke vil kreve regelmessigklipping.	Uegnet	Egnet
Andre stauder	Tørketåle stauder egnet for vokseplass og formål tillegg C.	Uegnet	Egnet
Mose	Moser er vanligvis ikke en del av salgsvaren, men vandrer inn over tid etter etablering. Mose ansees ikke som ugress når den forekommer i plantesamfunnet.	Godt egnet	Mindre egnet
MERKNAD 1 Tørt gras kan være en begrensning med hensyn til brannklassifisering.			
MERKNAD 2 Vekstmediets tykkelse påvirker ugrassartenes evne til å etablere seg. Tykt vekstmedium vil normalt øke behovet for skjøtsel.			

Tabell 2 Vekstmedium for ulike plantetyper, [6]

2.1.4 Hvorfor det brukes

Miljødirektoratet har uttalt at det kan forventes en økning i hyppigheten av flomhendelser [11]. Flom har ikke en bestemt definisjon, men i Hydrologi definerer NVE det som «... forholdsvis høy vannføring forårsaket av nedbør eller snøsmelting.» [12]. I dag er det allerede en økende trend i regnflom [11]. Dette fører med seg diverse utfordringer, spesielt innen VA. Tomten har en utarbeidet overvannsplan som tilfredsstillt kravene i Bjørnafjorden kommune.

Videre vil grønne tak bidra til biologisk mangfold [10]. Stedet anses ikke å ha utfordringer knyttet til opprettholdelse av biologisk mangfold. Området er ikke høyt urbanisert eller regulert til større utbygging slik det står i dag [13]. Det er likevel viktig å opprettholde grønne overflater og arealer der det er mulig. Den generelle utviklingen ved utbygging er fortetting, noe som er ønskelig i de fleste kommuner. Det tas derfor utgangspunkt i at området vil utvikles til et industri- eller mer urbanisert område.

Fremtidige klimautfordringer kombinert med potensiell fremtidig utbygging, er grunnen for å se på en alternativ takløsning for bygget.

2.1.5 Fordeler og ulemper

Denne teksten presenterer fordeler og ulemper ved å implementere en grønn takløsning på en bygning. Fordelene inkluderer redusert avrenningsintensitet og -volum, økt taklevetid, mindre luftbårne partikler og støyforurensning, potensiell energisparing, forbedret miljøklassifisering, høyere brannmotstand og økt sosialt velvære. Ulempene inkluderer høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader, potensielle komplikasjoner med lekkasje, dreneringsproblemer, og potensiell spredning av fremmedarter.

Grønne tak kan redusere avrenningsintensiteten og -volumet ved montering på bygninger. Selv om taket når full metning, kan det fortsatt bidra til å avlaste vann- og avløpssystemet. Takets levetid kan økes ved å beskytte takflaten mot skadelig UV-stråling som kan slite ned takbelegget. Vegetasjonslag på taket kan også redusere luftbårne partikler og støyforurensning, som kan ha positive effekter på trivsel og helse. Videre kan grønne tak bidra til energisparing ved å holde bygningen kjølig på varme dager og isolere på kalde dager. Grønne tak kan også forbedre miljøklassifiseringen til bygningen og gi høyere brannmotstand.

På den annen side kan grønne tak ha høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader sammenlignet med andre taktyper. Endring av taktypen kan også føre til betydelige investeringskostnader og økte tilleggskostnader på grunn av endringer i bærende konstruksjon. Videre kan vedlikehold av grønne tak by på etterkostnader, inkludert skader på taket. Skulle taket få en lekkasje, kan det grønne taket komplisere lokalisering og reparasjon av lekkasjen. Redusert drenering kan drepe vegetasjonen, mens spredning av fremmedarter kan ha økologiske og økonomiske konsekvenser og føre til tap av biologisk mangfold, nedbryting av habitater og endrede næringsstoffsykluser. Hensyn er viktig ved import av planter, for å forhindre utilsiktet introduksjon av fremmede arter og å prioritere beskyttelse av lokale økosystemer.

I sum kan grønne takløsninger ha mange potensielle fordeler, men også ulemper som må tas i betraktning ved valg av taktype [7].

2.2 Brann

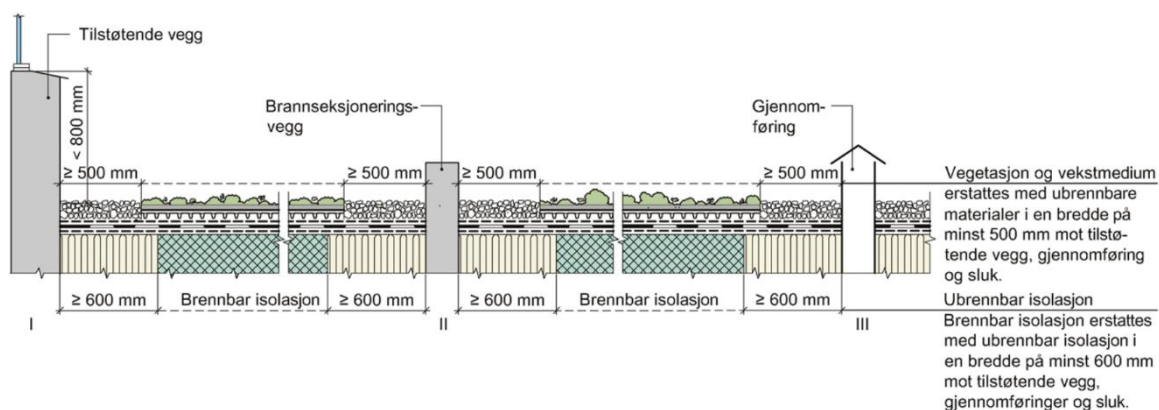
2.2.1 Forebyggende brannsikkerhet

Forebyggende brannsikkerhet for grønne tak er beskrevet i NS 3840 [10], det ligger også anbefalinger og gjennomførings beskrivelser på Byggforskserien [2]. Disse henviser til punkter som er beskrevet i en tysk veileder (FLL) for grønne tak [2], [14].

Grønne tak reduserer muligheten for brannspredning og kan fungere som et preventive element. Et grønt tak er motstandsdyktig mot brannspredning både fra strålevarme og flygende gnister, forutsatt at kriterier for det grønne taket er oppfylt. I standarden og i grønt tak litteratur finner vi brannreducerende krav, samt tiltak beskrevet. De nevnte tiltak er endring av isolasjonstype, minimum lagtykkelse, seksjonering av taket og material beskrivelse [10].

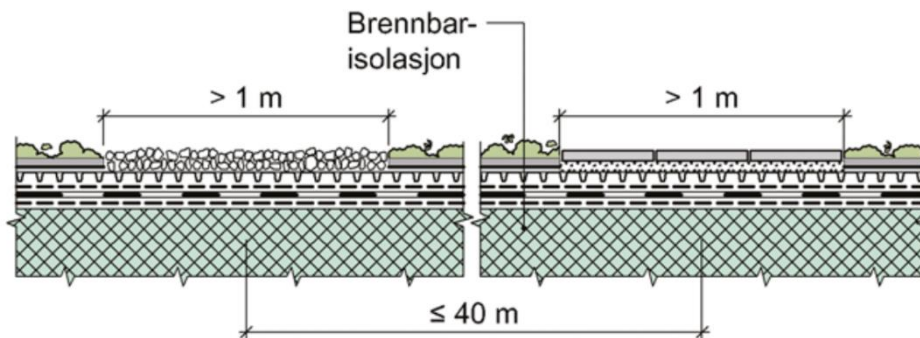
Når isolasjonstypen endres, gjelder ikke dette for hele taket. Tiltaket gjelder i tilknytning til andre tilstøtende bygnings og konstruksjonsdeler. En ikke brennbar isolasjon skal være lagt med minimum avstand 600mm, mot tilstøtende vegger, sluker eller andre gjennomføringer i taket. Lagtykkelsen stilles det også krav til, denne skal være $\leq 30\text{mm}$ [10].

Jorden skal ikke ha en organisk materialandel større enn 20% av vekt og ha mineralrik sammensetningen. Vekstmedium og beplantning skal også byttes ut med ikke brennbare materialer i tilknytning til andre tilstøtende bygnings og konstruksjonsdeler. Betongheller eller stein legges i en avstand på 500mm fra tilstøtende vegger, sluker eller andre gjennomføringer. Dette gjelder også for røykluker, overlys og tilstøtende vegger med vinduskarmer lavere enn 800mm [10].



Figur 7 Illustrasjon seksjonering og avstander, [2]

Det foreligger også krav til utførelse av seksjonering på taket med brannbarrierer. Brannbarrierene skal ha en bredde på en meter hvor man erstatter vekstmediumet og vegetasjonslaget med ikke brennbare materialer som stein eller betongheller. De skal ha en maksimal avstand fra hverandre på 40 meter. Tiltaket kan også utføres ved at brannvegger føres opp over tak med en minimumshøyde på 300mm [10]. Årlig kontroll av brannbarrierer skal utføres, for å kontrollere at de opprettholder sin funksjon.



Figur 8 Oppbygning seksjonering, [2]

Om ovennevnte tiltak og betingelser følges trenger ikke det vanntettende takbelegget å oppfylle brannteknisk kravsklasse $B_{\text{roof}}(t_2)$ [14].

«Er grønt tak ikke lagt når bygningen tas i bruk, skal takbelegget likevel ha brannteknisk klasse $B_{\text{roof}}(t_2)$ » [2].

I tillegg finnes det hensynspunkter til brannsikkerhet både for bygingsfasen og driftsfasen nevnt i FLL [14].

Byggefase [10]:

- Ryddige forhold på byggeplass
- Begrense lagring på byggeplass
- Desentralisert lagring av geotekstiler og vanntett membran
- Varsom bruk av varmt arbeid (sveising, gassbrenner eller varmluft for legging av vanntett membran)

Driftsfase [10]:

- Skjøtsel i form av vanning, fjerning av døde planter og holde seksjoneringsfelt fri for vegetasjon
- Utføre nødvendige endringer om bruken endres
- Ingen bruk av gassvarmere, infrarøde varmere og varmluftsenheter for ugress håndtering
- Forsiktig håndtering av andre varme kilder som grill, strålevarmegivere el.

2.3 Tretrinns strategi

Tretrinns strategien har 3 trinn, hvis en teller med trinn 0 som er planleggingen på forhånd så ender man opp med fire [10]. Disse trinnene er henholdsvis:

0. Planlegging - Som en del av planleggingen i forhold til flomproblemer, er en av anbefalingene å ikke tillate bygging av kjeller. PostNord bygget oppfyller dette.

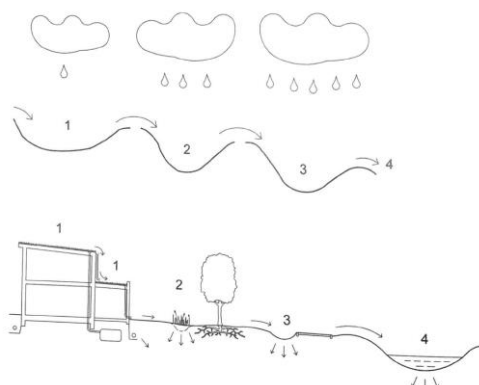
1. Fang opp, rens og infiltrer - Trinnet baserer seg på passive tiltak som regnbed, grønt tak, permeabelt dekke, infiltrasjonsfang osv. Ved etablering av grøfter håndteres dette trinnet i dag.

2. Forsink og fordrøy - Her kan vi ha åpne blå-grønne løsninger og lukkede magasiner.

- Blå-grønne løsninger: konstruerte eller naturlige dammer, regnbed, tørre dammer
- Lukkede løsninger kan være betong/GPR tanker, rørpakker laget av plast eller betong, pukk eller plastkassetter.

Tomten er i dag bygget ut med grøfter og regnbed.

3. Trygge flomveier - Flomveier skal kunne lede bort vann i ekstreme tilfeller av regn. Tiltaket skal skje uten inngrep i naturen, noe som vil si at parkering, tilkomstveier og tilsvarende



Figur 9 Illustrasjon tretrinns strategi, [10]

lukkede flater brukes til flomveier. Flomveiene må utføres slik at de ikke eroderer under slike forhold.

2.3.2 Lokal overvannsdiskonering

Lokal overvannsdiskonering (LOD) er fordrøyning og infiltrering på området. Overvann tas i bruk som ressurs på området og grønt tak er et slikt tiltak. Effektive og riktige anvendte lokale tiltak, reduserer flom risikoen og utslipp i området. Med gode LOD tiltak kan vi bedre ivaretagelsen av vannressurser og samtidig redusere slitasjen på infrastruktur [15].

2.3.3 Kommuneplanens Arealdel (KPA)





For tiden benytter Bjørnafjorden kommune Os kommunes gamle KPA-plan [13], inntil en ny plan blir utviklet etter sammenslåingen av Os og Fusa kommune. I planen er det ikke spesifiserte retningslinjer opp mot grønne tak. Det blir derimot nevnt at det skal fokuseres på bærekraftig forvaltning for å unngå negative konsekvenser for vann kvantitet og kvalitet. Videre fokuseres det på å ta vare på biomangfold og redusere negativt miljøpåvirkning. Kort oppsummert har Os sin KPA-plan fokusert på å ta vare på de vannressurser de har, samtidig som de ønsker bærekraftige handlinger fremover med hensyn på vann, fauna og flora.

Det er vanskelig å si hvordan den neste KPA-planen for Bjørnafjorden vil se ut, men det kan være rimelig å anta at den opprettholder eller utvider de forutnevnte blågrønne målene. Med dagens KPA tatt i betraktning og de fremtidige ønsker, vil en blågrønn løsning slik som grønne tak være fornuftig. En slik løsning oppfyller de eksisterende ønsker om bærekraftig forvaltning når det kommer til vannhåndtering, biomangfold og redusert klimaavtrykk [13].

2.3.4 Blågrønn faktor

Blågrønn faktor (BGF) forklarer bruken av grønne arealer og åpne vannveier, blågrønn faktor utregningen indikerer hvor mye av terrenget som er dekket av slike arealer. Dette er et tiltak for å sikre «samfunnsikkerhet, naturmangfold og byliv» [16].

Disse kvalitetene en ønsker å oppnå er viktige, men er vanskelig å ta stilling til. Området er i dag lite utbygd og har utbredte skogområder rundt seg. Det er lite hensiktsmessig å regne blågrønn faktor slik området er i dag. I tillegg er det viktig å være fremtidsrettet og begynne med tiltak i en tidlig fase med hensyn på fremtidig utbygging. Den totale faktoren regnes ut fra hvor mange blågrønne tiltak som har blitt gjort, der hvert tiltak har en poengsum. I veilederen for Oslo kommune finnes tabeller med eksempler:

TRÆR OG BUSKER		Stykk	Verdi pr stk	
 Eksisterende trær	Det skiller på store og små trær ut fra dagens omkrets på stammen målt én meter over terrenget. Hvis trærne har omkrets på mer enn 90 cm, får de en verdi på 25 per stk. Hvis trærne har omkrets under 90 cm, får de en verdi på 12,5 per stk.	0	25	0,00
		0	12,5	0,00
 Nye trær	Det skiller på store og små trær ut fra fremtidig høyde på trær. Trær som blir høyere enn ti meter, regnes med verdi på 10 per stk. Trær som blir lavere enn ti meter, regnes med verdi på 5 per stk.	0	10	0,00
		0	5	0,00
		Areal m ²	Verdi pr m ²	
 Busker	Tiltaket omfatter felt med busker, hekker, stauder og bunndekkerere. Arealet regnes i kvadrater: for utbredelse av kroner på busker og hekker, og for plantefelt med stauder og bunndekkerere. Både eksisterende og nye planter og felt regnes med.	0	0,4	0,00
		Delsum BGF: 0,00		
BLÅGRØNN STRUKTUR		Stykk	Verdi pr stk	
 Styrke blågrønn struktur	Tiltaket omfatter blå og grønne elementer på tomten som kobles til eksisterende blågrønn struktur utenfor tomten. Det oppnås 0,05 BGF pr. kobling, for inntil to sider av tomten.	0	0,05	0,00
		Delsum BGF: 0,00		
Utarbeidet av Plan- og bygningssetaten. Versjon 11.12.2019		TOTAL BLÅGRØNN FAKTOR (BGF) 0,0		

Tabell 3 Blågrønn faktor, [16]

Den fullstendige tabellen ligger i vedlegg B.1 [16]. En kan ut ifra veilederen forvente at terreng og flater utgjør omtrent 60-70% av BGF bidraget, trær og busker 20-30%. I henhold til denne tabellen ender vi opp med 3124,8 i BGF. Isolert sett på taket, gir dette en økologisk effektivitet på 0,4.

$$\text{Økologisk effektivitet} = \frac{\sum \text{Tiltakenes blågrønne kvaliteter}}{\text{Tomtestørrelse}}$$

Formel 1 Økologisk effektivitet, [16]

Bjørnafjorden kommune har som tidligere nevnt ikke opprettet en arealplan. Derimot antas det at området vil utvikles til et industriområde, da det er flere planerte tomter i umiddelbar nærhet til PostNord bygget. Derfor vil et fremtidsrettet tiltak være en god start, men hvis en skal oppnå høy BGF så bør tilleggstiltak på det asfalterte området rundt bygget utføres.

2.3.5 Den rasjonelle formelen

Den rasjonelle formelen er bredt brukt for å estimere dimensjonerende vannføring og er basert på tre variable:

Formel:

$$Q = \varphi \cdot i \cdot A \cdot kf$$

Q = dimensjonerende vannføring (l/s)

φ = avrenningskoeffisienten

i = nedbørintensitet (l/s*ha)

A = areal av nedslagsfeltet i (ha.)

kf = klimafaktor.

Formel 2 Den rasjonelle formel, [17]

Avrenningskoeffisienten, φ : Denne dimensjonsløse variabelen representerer det totale regnfallet som vil renne av en overflate. Den tar høyde for hva overflaten brukes til, jordtype og andre faktorer som kan påvirke infiltrasjonen i bakken. Et eksempel på høy avrenningskoeffisient er et sted med mye asfaltert bakke. I en slik situasjon vil koeffisienten være opp imot 1.

Tabellen er oversatt fra engelsk til norsk

Overflatetype	Avrenningsfaktor, C	Kommentar
Impermeable arealer og bratte tak*	0,9 – 1,0	Avhengig av gropsformasjon/lagring
Store flate tak	0,5	Over 10 000 m ²
Små flate tak	1,0	Mindre enn 100 m ²
Permeable arealer	0,0 – 0,3	Avhengig fall og overflate
* Impermeable arealer kan økes med 30 % ved store vertikale flater.		

Tabell 4 Avrenningsfaktor, [13]

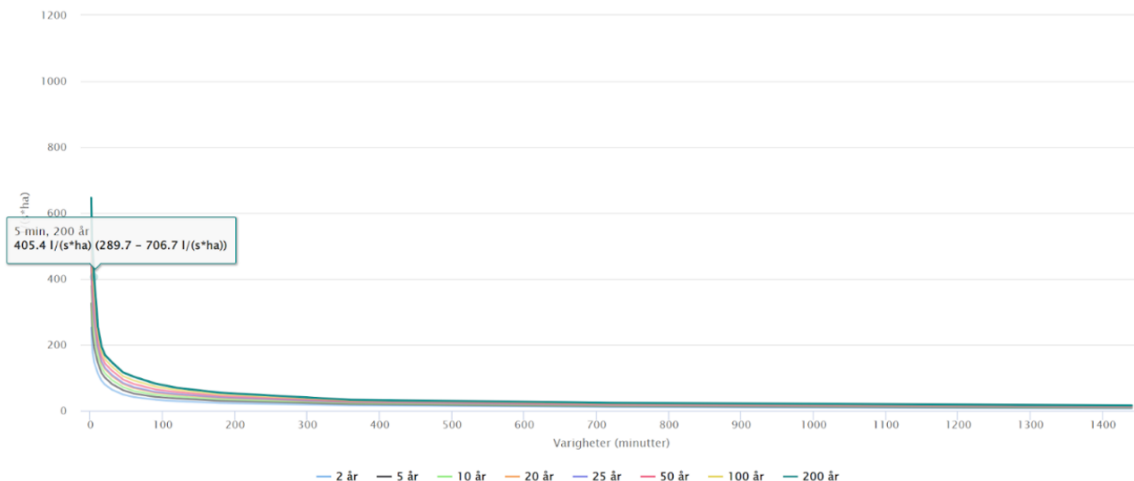
Intensitet på regnet, i : Den blir regnet i millimeter per minutt eller liter per sekund*hektar. Den blir vanligvis tatt fra IVF-kurver med data på regnintensiteten for et område. Intensitet-varighet-frekvens kurven er en graf som brukes i den rasjonelle formelen. Kurven viser forholdet mellom regnintensitet, varighet og frekvens for et spesifikt område. Fremgangsmåten baserer seg på å analysere historiske data for området, med bruk av statistikk kan man beregne en gitt nedbør i løpet av et år. Resultatet gir forventet regn-intensitet, hvor lenge denne vil vare og hvor ofte en kan oppstå. Dette er en viktig del av beregningen og estimeringen for hvor mye overvann som må håndteres i urbane/utbygde områder.

IVF-verdier for Bergen - Sandsli (SN50480), 37 moh.
Data fra 1984 - 2021, 24 ses. Oppdatert 31.12.2021.

Gjentaksintervall (år)	Varigheter (minutter)															
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
2	252,3	202,7	176,6	147,4	113,2	91,6	79,0	63,4	49,2	41,1	33,3	28,9	23,2	16,4	10,7	7,3
5	325,9	260,5	229,9	191,9	145,0	115,2	99,9	80,4	62,3	52,0	41,6	37,0	30,1	20,3	13,4	8,9
10	378,5	302,8	269,7	225,1	166,3	130,3	113,4	92,2	71,5	59,9	47,9	42,7	34,7	22,9	15,3	10,1
20	434,4	346,0	312,5	259,8	187,5	145,5	126,4	104,1	81,1	68,6	54,6	48,3	39,2	25,3	17,2	11,3
25	453,0	360,9	327,2	271,3	193,8	150,3	130,3	108,1	84,1	71,4	56,9	50,3	40,6	26,1	17,9	11,7
50	514,3	408,1	373,2	311,1	214,4	165,3	143,0	120,8	94,4	80,8	64,5	56,3	45,1	28,4	19,8	13,0
100	577,3	459,7	422,5	356,5	235,3	180,4	156,0	133,3	104,7	91,3	72,9	62,5	49,6	30,6	21,9	14,4
200	645,9	517,3	479,1	405,4	256,1	195,8	168,7	146,0	116,3	102,8	81,8	69,2	54,4	32,9	24,0	15,8

IVF-verdier for Bergen – Sandsli (SN50480), 37 moh.

Data fra 1984 - 2021, 24 ses. Oppdatert 31.12.2021.



Figur 10 IVF-kurve og tabell, [18]

Areal av nedslagsfelt, A: Er det totale arealet på nedbørsfeltet.

Klimafaktor, kf: Brukes når man dimensjonerer fremtidig vannføring. Faktoren er basert på antagelsen om økende nedbør i de kommende årene i tråd med klimaendringer. Denne settes til 1,4, som tar høyde for en økning på 40% i nedbør [17].

2.3.6 Usikkerheter med den rasjonelle formelen

Det er viktig å merke seg at den rasjonelle formelen har sine begrensninger.

En usikkerhet er at formelen tar utgangspunkt i et homogent regnfall og tar ikke hensyn til den totale fordampingen fra vegetasjon (evapotranspirasjon). Taket begrenser seg til et lite område, likevel kan det oppstå in-homogent regnfall her. Variasjoner kan oppstå innenfor små områder, for taket som sees på her, vil regnfallet være jevnt nok til at dette ikke vil være utslagsgivende. Variasjoner blir ikke tatt høyde for.

Videre usikkerheter ligger i IVF-kurvene. Disse baserer seg på statistikk og sannsynlighet som åpner for unøyaktigheter. I beregninger av taket vil de oppdaterte IVF-kurvene brukes for å oppnå best mulig nøyaktighet.

Neste usikkerhet er avrenningsfaktoren. I laboratorieforsøk utført av SINTEF i samarbeid med institutt for bygg- og miljøteknikk gjøres det testing på avrenningskoeffisienter for grønne tak. Funnene indikerer at avrenning er vanskelig å måle. Konklusjonen de trekker er at det er en utfordring å beregne hydrologisk kretsløp basert på bare en koeffisient. Helt konkret finner de koeffisienter fra 0,3 til 0,9 som gir høy usikkerhet [18].

2.3.7 Konsentrasjonstid

Konsentrasjonstiden er viktig for utregningen av flom i et område. Beregningen viser takets avrenningstid fra ytterpunkt til utløp. Flere faktorer spiller inn i beregningen alt fra helning på området, vegetasjon og permeabilitet. Det antas at konsentrasjonstid vil øke ved tilføring av grønn takløsning. På grunn av begrenset tilgjengelig data og betydelig usikkerhet i kildene, er det utfordrende å fastsette en spesifikk konsentrasjonstid. Derfor har det blitt utført flere beregninger for å gi et bredere overblikk av taket, se vedlegg B.2.

2.3.8 Beregninger

Takflaten har en avrenningskoeffisient på mellom 0,9 og 1, hvilket betyr at jorden ikke vil bli mettet selv i lange perioder med nedbør. Metningsgrad vil ikke være en faktor som tas i betraktning når man utfører beregninger. Det vil heller ikke være relevant å vurdere frost og høydekurver ved gjennomføringen av beregningene.

Når den rasjonelle formelen for vannføring brukes, beregnes før og etter situasjonen for taket. Avrenningskoeffisienten blir vurdert fra flere kilder. Grunnen er at det er store variasjoner fra kilde til kilde. Avrenningskoeffisienten er hentet fra VA-miljøblad og er illustrert i tabell under [19].

Bepantning	Tykkelse på vekstlag, mm	Avrenningskoeffisient
Mose og bergknapp	20 - 40	0,60
Mose, bergknapp og andre mindre planter	60 - 100	0,50
Gress og mindre planter	150 - 200	0,40
Gressplen og større planter / mindre trær	> 500 mm	0,10

Avrenningskoeffisienter for grønne tak er avhengig av beplantning. Ref. "Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites". /1/

Tabell 5 VA-miljøblad, [14]

Det brukes tall fra klimaservicesenteret for vannføringen for området. Valgt vannføring er fra Sandsli, Bergen. Denne er den nærmeste stasjonen tilgjengelig for tall på vannføring.

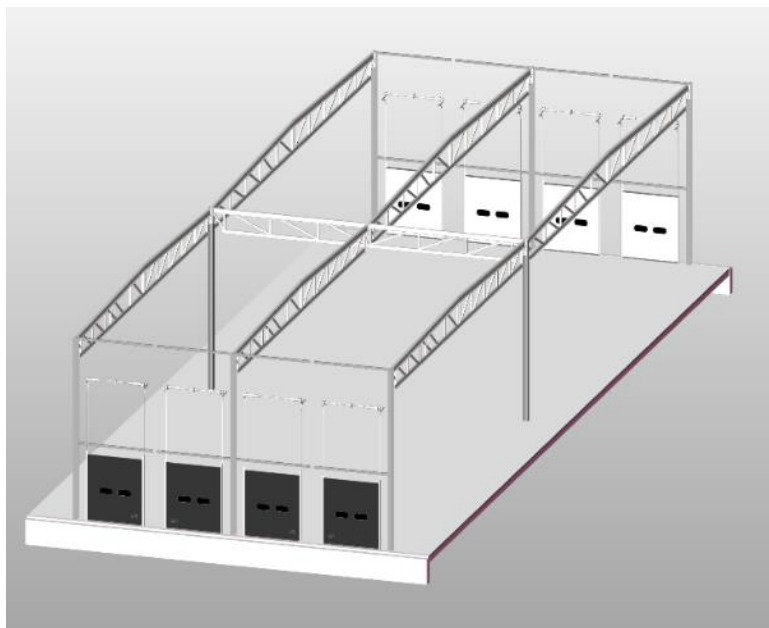
3. Lastgrunnlag

Lastgrunnlaget for bygget baserer seg på tallene hentet fra et dokument (Forutsetninger for prosjektering, Lyseparken) fra grunnlaget gitt av HTB, se vedlegg A.1. Tall for snø, vind og egenlast er hentet ut fra dokumentet og brukt til kontroll av beregningene [20].

3.1 Statisk system

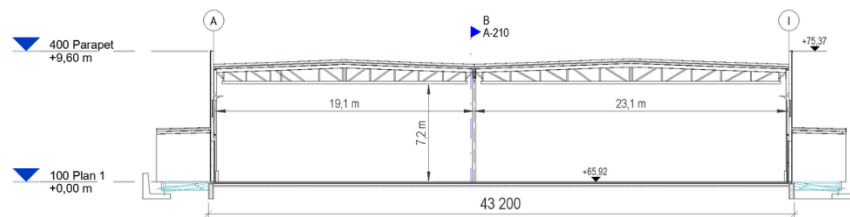
Bygget har en bærende konstruksjon bestående av stålsøyler med bjelker og fagverksbjelker som forbinder disse. Hovedsakelig fokuseres det på taket og hvilke lasterendringer det gir ved endring av taktype. I konstruksjonsdelen vil den eksisterende strukturen undersøkes og forslag til eventuelle justeringer i dimensjoneringen av de lastbærende elementer utføres dersom samlede konstruksjonslaster overstiger byggets nåværende bæreevne.

Figur 11 viser den avgrensede delen av bygget det beregnes på for å kontrollere om takkonstruksjonen og søylene tåler den ekstra lasten fra et grønt tak.



Figur 11 Illustrasjon avgrenset del av bygget. Skjermdump fra Revit.

Beregningene og kontrollene er utført etter det statiske systemet vist i figur 12 under. Forenklet betraktes systemet som en kontinuerlig bjelke over 3 opplegg med to ulike spenn.



Figur 12 Illustrasjon av det statiske systemet. Skjermdump Revit.

3.2 Lastfaktorer

Grunnlaget for prosjektering av en konstruksjon ligger i EC. Standardene har egne krav til konstruksjonen basert på formålet den skal brukes til. Herunder stilles det krav til pålitelighet, økonomi, kapasitet, geometri og valg av materialet for å nevne noen. Bygget kontrolleres etter EC i bruddgrensetilstand.

For beregning i bruddgrensetilstand brukes kapasitetsligningene, vist i figur 13. Ligning 6.10a) brukes ofte for dimensjonering av lagerbygg. Ligning 6.10b) brukes for øvrige

Bruddgrense – dimensjonerende verdier

Dimensjoneringssituasjon	Permanente laster	Dominerende variabel last	Andre variable laster
EQU Global likevekt (Sett A)	1.2/0.9 ¹⁾	1.5	1.5 ψ_0
STR/GEO Kapasitet (Sett B) L. 6.10a L. 6.10b	1.35/1.0 ¹⁾	1.5 ψ_0	1.5 ψ_0
	1.2/1.0 ¹⁾	1.5	1.5 ψ_0
STR/GEO Sikkerhet mot brudd i grunnen (Sett C)	1.0	1.3	1.3 ψ_0

1) Den lastfaktoren som gir den ugunstigste lastvirkning skal benyttes. For egenlast kan imidlertid den samme lastfaktoren benyttes i alle spenn i en kontinuerlig bjelke/plate ~~høstsett fra utkragede deler~~

Figur 13 Forenklet tabell NA. A1.2(B), utklipp opplæringsmateriell v/HVL

konstruksjoner[5]. Videre vil nyttelaster beregnes med en partialfaktor tatt ut ifra tabell NA.A1.1 sett i sammenheng med hvordan lastene vil opptre.

3.3 Konstruksjonens lastgrunnlag

Bygget brukes til lager for PostNord og er derfor i lastkategori E, se tabell 6. Det gir en partialfaktor Ψ_0 lik 1,0, og vanligvis ligning 6.10 a). Da lagerlaster ikke trengs å tas høyde for på tak, brukes ligning 6.10 b), ettersom 6.10 a) blir i overkant konservativ [5].

Tabell NA.A1.1 – Verdier for ψ -faktorer for bygninger

Last	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nyttelastkategorier i bygninger (se NS-EN 1991-1-1)			
Kategori A: boliger	0,7	0,5	0,3
Kategori B: kontorer	0,7	0,5	0,3
Kategori C: forsamlingslokaler, møterom	0,7	0,7	0,6
Kategori D: butikker	0,7	0,7	0,6
Kategori E: lager	1,0	0,9	0,8
Kategori F: trafikk- og parkeringsarealer for små kjøretøyer (kjøretøyvekt $\leq 30\text{kN}$ og høyst 8 seter utenom fører sete)	0,7	0,7	0,6
Kategori G: trafikk- og parkeringsarealer for mellomstore kjøretøyer, $30\text{kN} < \text{kjøretøyvekt} \leq 160\text{kN}$ på to akslinger	0,7	0,5	0,3
Kategori H: tak	0	0	0
Snølaster (se NS-EN 1991-1-3)	0,7 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,2 ¹⁾
Vindlaster (se NS-EN 1991-1-4)	0,6 ¹⁾	0,2 ¹⁾	0 ¹⁾
Temperatur (ikke brann) i bygninger (se NS-EN 1991-1-5)	0,6 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0 ¹⁾

¹⁾ Eventuell modifisering for ulike geografiske områder kan kreves av lokale myndigheter

Tabell 6 Verdier for Ψ -faktor, [5]

4. Egenlast

Permanente laster defineres som laster hvilket kommer til uttrykk gjennom hele konstruksjonens levetid. Typisk for en konstruksjon vil dette være laster som egenlast og jordtrykkslast.

Verdier for egenlaster for taket er hentet ut både fra tilbudsdokumenter fra tak leverandører og fra sjekkliste dokumentet fra HTB [20], se vedlegg A. For det ekstensive taket og verdier for egenlast har vi i all hovedsak sett på FDV papirer fra Bergknapp [21]. Tallene vi har funnet er sammenlignet med tall fra NS 3840 [10] og Sintef Byggforsk [2].

Spesifikasjoner for søyler ble hentet fra konstruksjonsmodellen og stål tabell. For prosjektering av fagverksbjelkene har det, etter råd fra ekstern veileder, blitt brukt Maku sin online

dimensjonerings kalkulator [22]. Denne brukes gjerne for å gi en indikasjon i forprosjektering på egenvekter og spesifikasjoner for bjelkene. Disse sammenlignes med dokumenter fra stålleverandør for prosjektet, GiveStaal [23].

Ytterlig er det sett på snø- og vindlaster som ligger til grunn i eksisterende prosjektering, samt avstander til fjell og hav for eventuelle tillegg i lastene.

5. Snølast

Dimensjonerende snølast på konstruksjonen beregnes etter retningslinjene og forutsetningene i EC1-3 [24].

5.1 Bestemmelse av snølast

Bygget dimensjoneres etter snølast, s , som er den virkende delen av snølasten. Snølast beregnes etter formel 3. Formelen for dimensjonerende snølast baserer seg på formfaktor μ_i , eksponeringskoeffisient C_e , termisk faktor C_t og karakteristisk snølast på flat mark S_k .

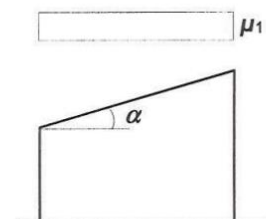
$$s = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

Formel 3 Snølast på tak, [24]

Formfaktoren, μ_i , er avhengig av formen og dimensjonene på taket. Videre beregnes det etter punkt 5.3 samt tillegg B i standarden. «Punkt 5.3 gir formfaktorer på tak for jevnt fordelte snølasttilfeller og for vindpåvirkede snølasttilfeller (snødriver) på alle taktyper som er behandlet i denne standarden med unntak av eksepsjonelle snødriver som er definert i tillegg B, der det er tillatt brukt» [24], 5.3.1(1) . Tillegg B brukes ikke i Norge.

Tabell 5.2: Formfaktorer for snølast

Takvinkel α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--



Figur 5.2 – Formfaktor for snølast – pulttak

Figur 14 Illustrasjon og Tabell formfaktor for snølast, [24]

«Eksponeringskoeffisient, C_e , bør brukes ved bestemmelse av snølast på tak. Valget av C_e bør ta hensyn til fremtidig utvikling rundt byggeplassen. C_e bør settes til 1,0 med mindre annet er angitt for forskjellig topografi.» [24], 5.2(7).

«Den termiske koeffisienten C_t bør brukes for å ta hensyn til reduksjonen av snølast på tak med høy varmegjennomgang ($>1 \text{ W/m}^2\text{K}$), særlig for enkelte typer glassdekte tak, på grunn av smelting forårsaket av varmetap. I alle andre tilfeller gjelder $C_t = 1,0$.» [24], 5.2(8).

«Karakteristisk snølast på mark, S_k , med 50 års returperiode bestemmes for alle landets kommuner og for noen steder med bebyggelse på Svalbard (...). For steder der høyden over havet H er mindre eller lik høydegrensen, H_g , settes normalt S_k lik grunnverdien S_{k0} . » [24], NA. 4.1.

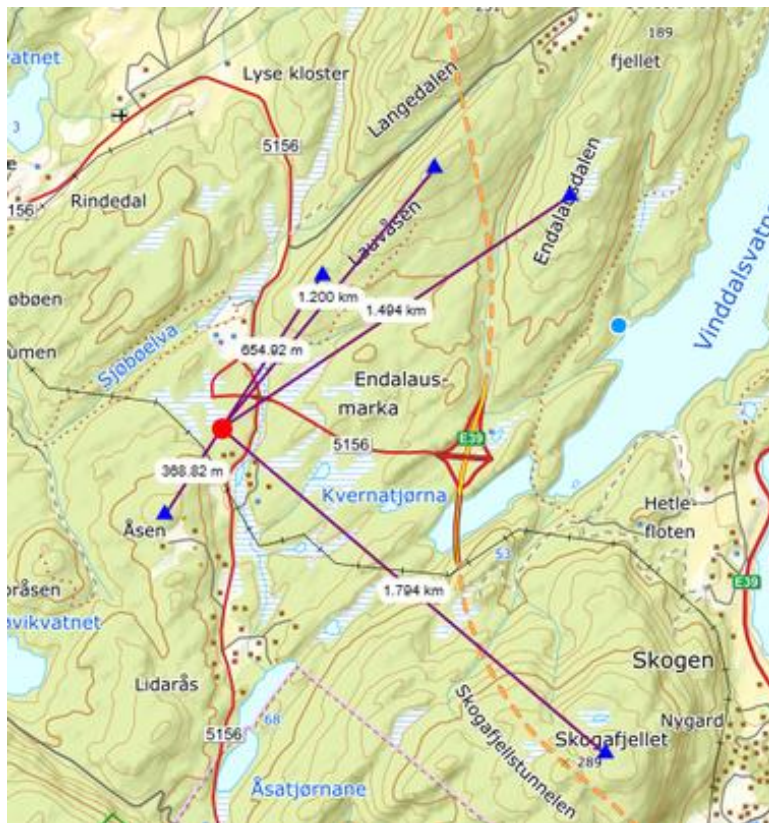
Ofte brukes den forenklete formelen for beregningen, vist i formel 4 under. Dersom kravene for den termiske- og eksponeringskoeffisienten er tilfredsstillt settes disse lik 1,0.

$$S = \mu_i * S_k$$

Formel 4 Forenklet snølast

5.2 Snølast Endelausmarka

Konstruksjonen vår har en parapet avslutning på taket og en helning tilsvarende 1/40. Taket havner derfor under definisjonen for flatt tak i følge [25], 7.2.3(1). Det vil derfor være hensiktsmessig å forholde seg til [5.3.2(2)] i standarden, og setter derfor μ_1 lik 0,8. Bygget er plassert i Endelausmarka i Os, og befinner seg ca. 65 moh. Høydegrensen, H_g , for området er lik 150m. Bygget ligger under høydegrensen, noe som ikke gir tillegg på karakteristisk snølast på grunn av høyde. Vi setter derfor $S_k = S_{k0} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ for Hordaland à Os, se vedlegg C.1.2.



Figur 15 Oversiktskart, Kartutklipp fra Norgeskart, [26]

Topografien rundt, kontrollert i Norgeskart [26] gir inntrykk av at bygget ligger i en grop, men ettersom fjellene er små og avstandene store for majoriteten av fjellene vil det ikke klassifiseres som skjermet topografi. Setter dermed C_e lik 1,0.

Taket er bygd opp fra bunnen av med kile isolering av mineralull nede i spor på q-dekke plater, isolasjonsplater, plastlag, mineralullplater, nytt lag med cellematerialplater av typen NPS til slutt dekket med en overflate av bitumbasert takbelegg med mekanisk innfestning. Varmegjennomgangskoeffisienten er derfor ikke nevneverdig høy, se vedlegg A.2, bruker derfor 1.0 for den termiske koeffisienten. Det gjør at vi kan ta i bruk den forenklete formelen for beregning av dimensjonerende snølast på tak, se vedlegg C.1.1.

5.3 Kontroll OS-prog– Snølast

Lastberegningsprogrammet baserer seg på forutsetningene i EC1-3. Programmet har en liste med parametere man fyller inn, vist i tabell under.

Videre legger man inn dimensjonene for bygget, da bredde og lengde. Dernest får man opp alternativer for hvordan takkonstruksjonen er utformet, se vedlegg C.1.3.

Parameter	Verdi
Fylke	Hordaland
Kommune	Os
S_k	2,0 kN/m ²
Sted	Endelausmarka, Osøyro
Byggets plassering (m.o.h)	+ 60
Termisk faktor, C_t	1,0
Eksponeringskoeffisient, C_t	1,0
Økningsfaktor	0
ΔS_k	0,5 kN/m ²
Justert snølastverdi	1,6 kN/m ²

Tabell 7 Parametere OS-prog

6. Vindlast

Vindlastberegningene er avgrenset til taket. Sammenligningsgrunnlaget for prosjektert vindlast er hentet ut ifra HTB dokument, se vedlegg A.1.

EC1-4 «gir retningslinjer for fastsettelse av vindpåvirkninger for prosjektering av bygg og anlegg for hvert av arealene som belastes og er med i vurderingen. Dette omfatter hele konstruksjonen, deler av konstruksjonene eller deler festet til konstruksjonen» [25], s.8.

Vindlasten er beregnet med håndberegninger og kontrollert i Lastberegningsprogrammet i OS-prog, se vedlegg C.2.

6.1 Vindkasthastighetstrykk

Vindlast klassifiseres, på lik linje med snølast, som en naturlast. Den varierer derfor med tiden. I tillegg vil resultantkraften av lasten virke normalt på overflaten av konstruksjonen, enten som trykk eller sug, samt være avhengig av utformingen av overflatene. Vindens resulterende krefter vil virke normalt på overflaten samtidig vil de utøve direkte og indirekte krefter på både utsiden og innsiden av konstruksjonen i form av trykk og sug.

Vindlasten på konstruksjoner dimensjoneres etter vindkasthastighetstrykket $q_p(z)$, som er den kortvarige faktoren for vindpåvirkning. Denne avhenger av høyden z over terrenget. Vindkasthastighetstrykket beregnes med formel 5.

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

Formel 5 Vindkasthastighetstrykk, [25]

Referansevindhastigheten $V_{b,0}$ er kortvarig middelvindhastighet uavhengig av retning eller årstid [25], s.15. Denne referansevindhastigheten er oppgitt for alle kommuner i tabell NA.4(901.1). Basisvindhastigheten er en funksjon av referansevindhastigheten $V_{b,0}$ med hensyn til relevant vindretning og årstid, dersom returperioden er 50 år og byggestedet ligger under høydegrensen. Dersom høydegrensen overskrides, må man vurdere C_{alt} og C_{prob} samt inkludere disse i formel 6. Retnings- og årstidsfaktor, C_{dir} og C_{season} , kan oftest settes konservativt lik 1,0. Forenklet blir basisvindhastigheten lik referansevindhastigheten.

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * C_{alt} * C_{prob} * V_{b,0}$$

Formel 6 Basisvindhastighet, [25]

Stedsvindhastigheten $V_m(z)$ er en funksjon av høyden z , ruhetsfaktoren for terrenget $C_r(z)$ og terrengformsfaktoren $C_0(z)$, som beregnes etter formel 7.

$$V_m(z) = C_r(z) * C_0(z) * V_b$$

Formel 7 Stedsvindhastighet, [25]

«Turbulensintensiteten $I_v(z)$ ved høyde z er definert som standardavviket av momentanvindhastigheten dividert med middelvindhastigheten.» [25], s.18. Forenklet beregnes den etter formel 8.

$$I_v(z) = \frac{K_I}{C_0(z) * \ln(z/z_0)}$$

Formel 8 Turbulensintensitet, [25]

Faktorer som beliggenhet, topografi og varierende terrengform i vindens retning kan føre til store lokale variasjoner i vindkasthastighetstrykket på konstruksjonen. «Terrengformfaktoren $C_0(z)$ og turbulensfaktoren K_I styrer påvirkningene fra terreng på stedsvindhastigheten, turbulensintensiteten og vindkasthastighetstrykket.» [25], s.15.

6.2 Ingen topografi effekt

Vindkasthastighetstrykket kan beregnes alternativt etter den forenklete veiledningen i EC1-4 [NA s.2]. «Dersom terrengruheten for byggestedets omgivelser stort sett er den samme innenfor en radius på ca. 10km, (...), og selve byggestedet ikke ligger spesielt vindutsatt til for noen av byggestedets retningssektorer, dvs. Ikke nær bakketopp av betydning og heller ikke innenfor nærmere angitt avstand til særlig fremtredende bratt terreng (...)» [25], NA s.2. Hvis kriteriene er innfridd blir vindkasthastighetstrykket lik grunnverdien for vindhastighetstrykket $q_{p0}(z)$.

I tillegg kan $q_{p0}(z)$ forenklet beregnes etter *figur V.1 a-f i Veiledningen i EC1-4*, dersom man kjenner referansehøyden, terrengruhetekategori og referansevindhastigheten.

6.3 Med topografieffekt

«Dersom terrengruheten endres vesentlig innenfor avstanden 10 km fra byggestedet, vil V_m og I_v i den aktuelle vindretningssektoren være påvirket av flere terrengruhetekategorier.» [25], NA s.12. For å komme frem til vindkasthastighetstrykket multipliseres grunnverdien $q_{p0}(z)$ med overgangssonefaktoren K_3 . K_3 beregnes etter *tabell V.1 i Veiledningen i EC1-4*, hvor overgangen fra glatt til ru sone gir størst vindkasthastighetstrykk.

6.3.1 Byggested nær toppen av ås eller skråning

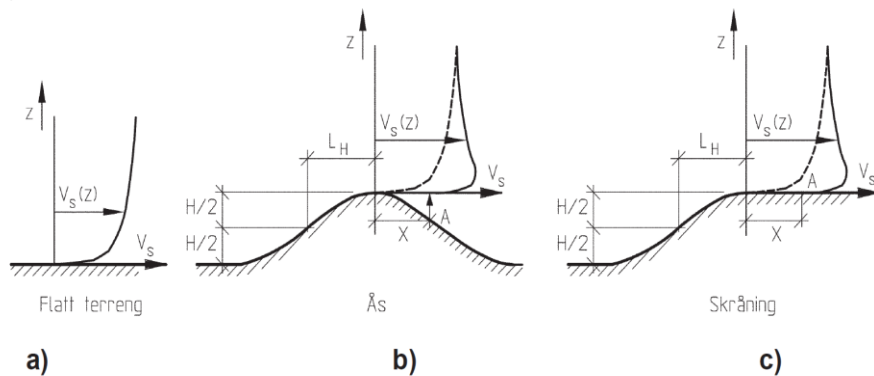
For byggested lokalisert høyere i terrenget enn $H/2$, med stigning på vindsiden kan få økt stedsvindhastighet. Terrengformfaktorene C_0 og K_I for ås og skråninger velges for lo- eller lesiden avhengig av hvilken som gir størst verdi for parameterne. Dersom ikke annet er oppgitt kan K_I settes lik 1,0. [25], NA s.15.

$$c_0(z) = 1 + \Delta S_{z,\text{maks}} \cdot \left[\frac{B/L_0}{B/L_0 + 0,4} \right] \cdot \left[1 - \frac{|x|}{k_{\text{virk}} L_H} \right] \cdot e^{-\left(\frac{a-z}{L_H}\right)}$$

Formel 9 Terrengformfaktor, [25]

Terrengformfaktoren $C_0(z)$ for byggestedet beregnes etter formel 9, dersom kravet:

$|x| < K_{\text{virk}} * L_H$ er oppfylt.



Figur 16 Illustrasjon for økning av stedsvind over åser og skråninger, [25]

$\Delta S_{z,\text{maks}}$, K_{virk} og a bestemmes etter tabell NA.4(901.8) i EC1-4. Hvor x er horisontal avstand i xz -planet med positiv vindretning, fra topp av ås eller skråning, til byggested.

6.3.2 Byggested i le av mindre bratt terreng

Byggested i le av ås eller skråning med gjennomsnittlig helning mindre enn 25 grader kan få økt turbulensintensitet, men stedsvindhastigheten reduseres. Dette gir mindre hastighetstrykk enn om begge var satt lik 1,0 noe som oftest ikke gjøres. Da kan man bruke C_0 lik 0,8 og K_I lik 1,2 dersom vilkårene er innfridd [25], NA.4.(901.8).

Krav	Tall Endelausmarka
- Gjennomsnittlig fall mindre enn 25°	10 grader 200m 34 grader 50m (se terrengprofil)
- Horizontal avstand fra topp til byggested mindre enn 15 ganger nivåforskjellen (H) 15*63 = 945m	370 m
- Avstanden $x > 1,5k_{\text{virkLH}}$	1,5*1,5*150 = 338 m

Tabell 8 Krav byggested i le av mindre bratt terreng.

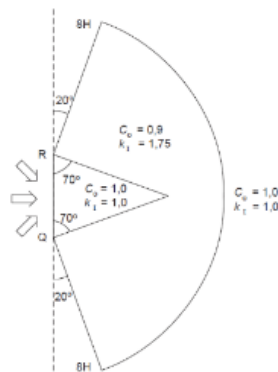
6.3.3 Byggested i le av skråning med helning større enn 30 grader

For bratt terreng skal man alltid bruke terrengruhetsfaktor II selv om det forekommer andre terrengkategorier.

Bratt, fallende terreng kan føre til sterk turbulens på byggestedet for enkelte retningssektorer. Dette gir økning i turbulensfaktor K_I . Det bratte terrenget på losiden av byggestedet reduserer langsomt den varierende middelvindhastigheten, som er grunnlaget for stedsvindhastigheten for byggestedet. Dermed regnes det med en redusert terrengformfaktor $C_0 < 1,0$. Kombinasjonen av disse to motvirkende effektene er bestemmende for turbulensintensiteten,



Figur 18 Parametere for vinkel større enn 40°, [21]



Figur 17 Parametere for vinkel mellom 30° og 40°, [21]

og kan medføre vesentlig økning i vindkasthastigheten samt vindkasthastighetstrykket [25], NA s.19. Endring i vindkasthastigheten og vindkasthastighetstrykket kan skjematisk vurderes etter figur 17 og 18.

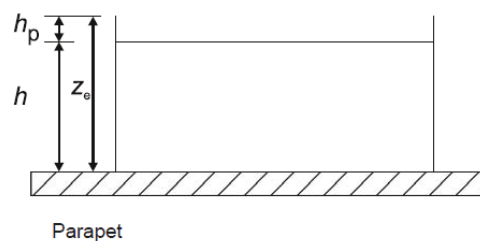
Figur 17 «vurderes etter om den gjennomsnittlige helningsvinkelen er mellom 30 og 40 grader i minst ett av de aktuelle områdene, men aldri over 40 grader. Da brukes K_I - og C_0 - verdiene som angitt ved figur 17. Vindkastforsterkning inntreffer under slike forhold normalt bare i de markerte sonene der det er angitt at $K_I > 1,0$, og som figuren viser, ved horisontal avstand mellom det bratte fjellpartiet og byggestedet er mindre enn $8H$ » [25], NA s.19.

Figur 18 brukes dersom «den gjennomsnittlige helningsvinkelen er større enn 40 grader i minst ett av de aktuelle delområdene, brukes K_I - og C_0 - verdiene som angitt ved figur 18. Vindkastforsterkning inntreffer under slike forhold normalt bare i de markerte sonene der det er angitt at $K_I > 1,0$, og som figuren viser, ved horisontal avstand mellom det bratte fjellpartiet og byggestedet er mindre enn $15H$ » [25], NA s.19.

6.4 Formfaktor etter EC

Vindpåvirkningen avhenger av størrelsen og utformingen av bygget med tanke på det belastede arealet. Formfaktorene for bygninger beregnes etter kapittel 7.2 i standarden, som tar høyde for utvendig og/eller innvendig vindpåvirkning. For utvendige påvirkninger ser man på 1 m^2 , $C_{pe,1}$, når man dimensjonerer små konstruksjonsdeler og festeinnretninger. Videre betrakter man 10 m^2 , $C_{pe,10}$, ved dimensjonering av bærende konstruksjonsdeler.

Tabell 7.1 til 7.5 gir verdier for $C_{pe,10}$ og $C_{pe,1}$, som bør brukes for de mest ugunstige vindretningene. De ortogonale vindretningene er de mest ugunstige, det vil si 0° , 90° og 180° .



Figur 19 Formfaktor for flate tak, EC1-4

Innvendig formfaktor C_{pi} beregnes etter punkt 7.2.9 i EC1-4, og bestemmes utfra om fasaden til konstruksjonen har dominerende åpninger som vil påvirke bygningen ved sterk vind [25], NA s.43. Faktoren μ beregnes for et bestemt tilfelle avhengig av hvor stort åpningsareal den dominerende fasaden har. Konservativt kan C_{pi} , for alle tilfeller hvor åpningsarealet ikke er dominerende, settes lik den mest ugunstige verdien for innvendig trykk [25], NA s.44. Gitt ved +0,2 for overtrykk og -0,3 for undertrykk.

6.5 Vindlast Endelausmarka

PostNord-bygget befinner seg i Os kommune, hvor området rundt består av spredte små bygninger og skog, som gir terrengruhetskategori II [25], NA s.81. Bygget har ingen dominerende fasadeåpninger. Når portene åpnes, står allerede lastebilene i åpningen og en tetningsgardin har lagt seg over åpningene mellom vogn og port, se vedlegg A.4.

Vindlasten kontrolleres med hensyn til retning av vinden fra den nærmeste åsen, som befinner seg i sørvestlig retning, samt ved hjelp av forenklet metode. Åsen har en annen topografi og terrengform som kan gi økt vindkasthastighetstrykk på byggestedet. Det er hensiktsmessig å ta hensyn til overgangssonefaktor K_3 , da det er en endring i ruhet innenfor 10km i den aktuelle vindretningen.



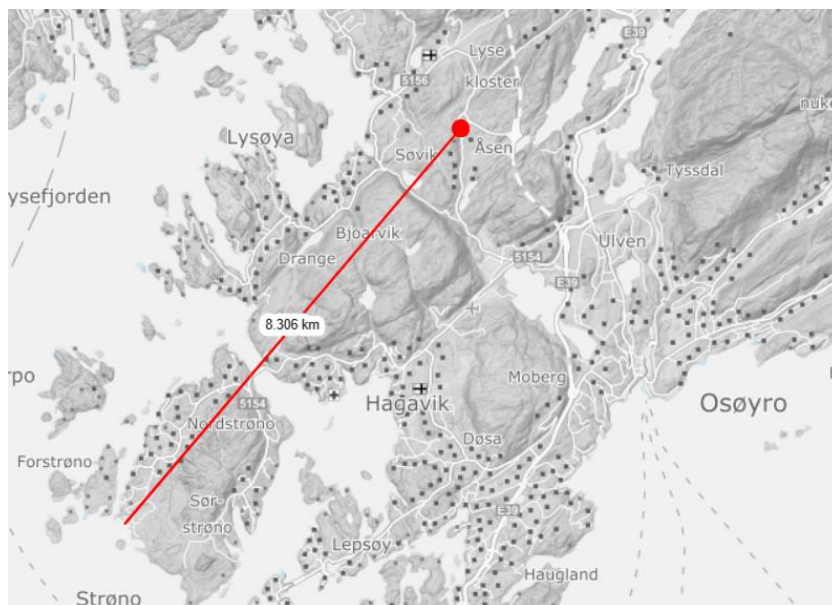
Figur 20 Avstand til glatt sone, [26]

Den største verdien for vindkasthastighetstrykket blir forenklet dimensjonerende for alle vindretninger i beregningen videre. Felles parametere for forenklet beregning og med hensyn til topografi er gitt i tabellen under. OS-prog tar utgangspunkt i samme parametere i lastberegningsprogrammet.

Parameter	Verdi
Fylke	Hordaland
Kommune	Os
Referansevindhastighet	$V_{b,0} = 26 \text{ m/s}$
Lengde kortside	$L_1 = 42,4 \text{ m}$
Lengde langside	$L_2 = 147 \text{ m}$
Tak type	Flatt tak m/ parapet
Parapet	$H_p/H = 0,1$
Tak helning	$\alpha < 5^\circ$
Byggested	+ 60 moh.
Høyde grunnivå til referansenivå	$z = 9,6 \text{ m}$

Tabell 9 Parametere for vindberegning OS-prog

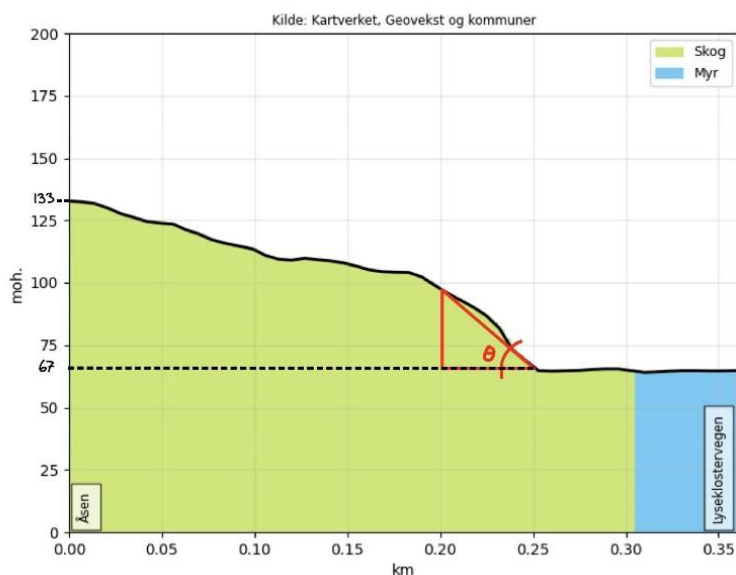
6.6 Vindretning sørvest



Figur 21 Avstand glatt sone Sørvest, [26]

Bygget ligger på lesiden av Storhaugen fra vindretning sørvest. Byggested i le av mindre bratt terreng kan få en økt turbulensintensitet, men samtidig vil stedsvindhastigheten reduseres. For å fastslå om dette tilfellet forekommer, gjøres en beregning basert på både helningsvinkelen og avstanden, beskrevet i teorien over.

Terrengets bratteste helning er på 34 grader, hvor resterende helning ligger omkring 10 grader, se figur 22 under.



Figur 22 Terrengprofil nærmeste ås, [26 egenmodifisert]

Vindretning sørvest kommer fra området med lite hindringer (kat. I), fra kystnære strøk mot topp av ås. Det er ingen reduksjon i C_{dir} for sørvest-vindretning, og den settes lik 1,0. Avstand til nabokategorien i aktuell vindretning er 4,2 km. Storhaugen har en topp på 133 m, og strekker seg utover 250 m, se figur 22. Horizontal avstand x fra topp til byggested er 370 m, og L_H , definert som halv ås- eller bakkelenge målt etter $0,5H$ på vindsiden av åsen, er 150 m.

Tilfellet for byggested i le av mindre bratt terreng må oppfylle de 3 kravene vist i tabell 8.

Kravet for gjennomsnittlig helning, horisontal avstand og avstand x er alle oppfylt, det gir topografifaktor $C_0 = 0,8$ og $K_I = 1,2$. Virkningen av disse gir en lavere verdi for vindkasthastighetstrykket, men høyere turbulensintensitet og vil derfor ikke være dimensjonerende.

6.7 Forenklet vindberegning

Forenklet beregning foretas for hånd og ved avlesning av figur. Vindkasthastighetstrykket beregnes uten å ta hensyn til topografisk påvirkning i noen aktuelle vindretninger, K_I og C_0 settes lik 1,0. C_{dir} , C_{season} , C_{alt} og C_{prob} settes lik 1,0, som gir basisvindhastigheten lik stedsvindhastigheten. Nabokategorien er tatt i fra vest, da dette er nærmest og gir høyere verdi for K_3 .

Parametere forenklet vindberegning Verdi

Terrengkategorikategori	II
Nabokategori	I
Avstand til nabokategori	1,5 km
Terrengformfaktor	$C_0 = 1,0$
Turbulensfaktor	$K_1 = 1,0$
Turbulensintensitet	$I_s = 0,19$
Beregnet stedesvindhastighet	$V_b = 26 \text{ m/s}$
Beregnet vindkasthastighetstrykk	$q_{\text{kast}} = 1,08 \text{ kN/m}^2$

Tabell 10 Parametere forenklet vindberegning

Beregner også med forenklet metode for vindberegning etter veiledningen i EC1-4. Leser av figur V.1 c) med $V_{b,0}$ lik 26 m/s. Avlesning gir $q_{p0}(z)$ lik 0,98 kN/m². Vindkasthastighetstrykket blir 1,08 kN/m², se vedlegg C.2.1 og C.2.2.

6.8 Dimensjonerende vindkasthastighetstrykk

Prosjektet Endelausmarka er dimensjonert for et vindkasthastighetstrykk på 0,98 kN/m² hentet fra forutsetning for prosjekterings dokumentet. Overgangssonefaktor K_3 har nok ikke blitt tatt hensyn til her, med tanke på at vindkasthastighetstrykket er satt lavere enn ved forenklet beregning. Det samsvarer med avlesningen etter veiledningen i EC1-4 av figur V.1 c) uten K_3 .

Kontroll ble utført for Storhaugen, denne ligger i umiddelbar nærhet til bygget. Den befinner seg vest for byggestedet noe som ikke gir reduksjon for C_{dir} . De andre fjellene og toppene befinner seg hovedsakelig i retning øst, som ville gitt reduksjon i C_{dir} .

Det dimensjonerende vindkasthastighetstrykket $q_{\text{kast}} = 1,08 \text{ kN/m}^2$, noe høyere enn beregnet med OS-prog, men likt for forenklet beregning etter veiledningen. Dette kan komme av input verdier eller avrundinger i beregningene, ettersom forskjellene er marginale. Avlesning av figurer gir også en større grad av unøyaktighet.

Her vil det være konservativt og til sikker side å bruke forenklet metode, og bruker høyeste verdien for q_{kast} som dimensjonerende for videre beregning.

7. Kapasitetskontroll

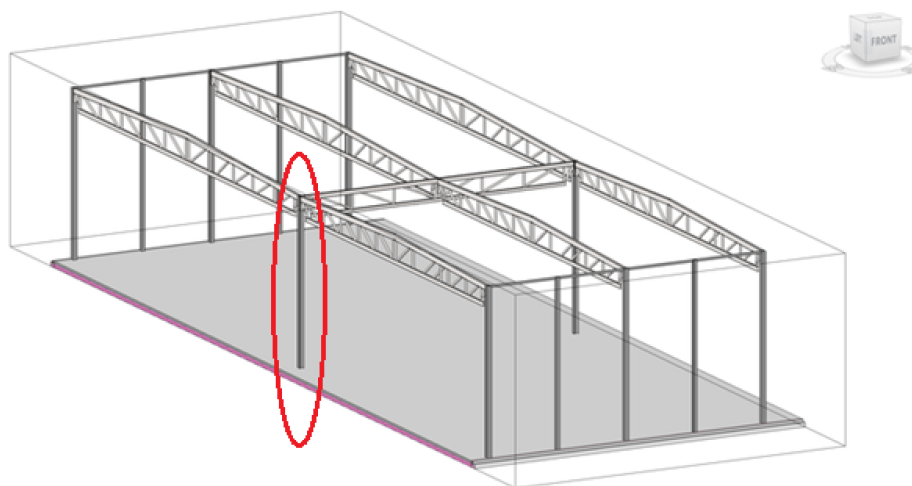
Konstruksjonens kapasiteter er avhengig av hvilke materialer og dimensjoner brukt i de bærende elementene. Kontroll av de mest utsatte konstruksjonsdelene i bygget er foretatt ved bruk av forenklete beregningsmetoder. Søylerne kontrolleres for knekking og vipping, hvor fagverksbjelkene vurderes i forhold til Maku dimensjoneringsprogram for totalt virkende last [22].

7.1 Sammenføyninger

Alle sammenføyninger mellom takkonstruksjon, søyler og bjelker er boltede forbindelser. Boltene blir levert sammen med stålprofiler fra stålleverandør for å sikre riktig type og kvalitet.

7.2 Søyle

Søylers oppgave er å overføre vertikale krefter fra dekker og bjelker ned i fundamentene. Det er derfor hensiktsmessig å kontrollere de mest utsatte søylene for eksisterende laster, samt tilleggslast. Den mest utsatte søylen er den i senter av rammesystemet ikke avstivet av fasadeplater, figur 23.



Figur 23 Søyle som beregnes, Skjerdump Revit

Det tas utelukkende hensyn til vertikale krefter da avstivningssystemet håndterer de eventuelle horisontale kreftene som oppstår i konstruksjonen. Aksiallasten som går ned i søylen er summen av takets egenvekt, snø- og vindlast multiplisert med lastbredden.

Ved beregning av enkeltstående bygningsdeler beregnes først knekkklengder.

7.3 Knekk lengde

Søylers knekk lengde beregnes for å ta hensyn til utbøyningsformen når tverrsnittet utsettes for trykkpåkjenninger. Knekk lengden til søylen er basert på innspenningsforholdet i endene. Figur 5.7 i EC2, se vedlegg D.3.2, gir verdier for l_0 også kalt L_{cr} . Søylene i denne konstruksjonen betraktes som fast innspennet i bunn, da de er boltet til fundament og støpt inn i gulv, se bilder under.



Figur 24 Illustrasjon, innfestning før/etter gulvstøp, skjermdump fra video [27].

De mest utsatte søylene i konstruksjonen, se figur 23, betraktes som noe innspennet i toppen på grunn av innfestningen av fagverksbjelkene. Derfor er det rimelig å trekke fra noe av den totale lengden på søylen. Knekk lengden kan antas å være mellom figur a) og d). Det blir derfor benyttet $l_0 = 0,7 \cdot l$ (fig. C), se vedlegg D.3.2. Søylene i midten av konstruksjonen har alle like betingelser om tverrsnittets sterke- og svake akse, dette resulterer i lik knekk lengde for begge retninger.

7.4 Knekking

Tverrsnitt som er trykkpåkjent, har større sannsynlighet for å knekke ut. Knekking er etter norsk standard anbefalt å kontrollere både for sterk og svak akse. Akseretning kan variere mellom tabeller. Dersom elementet er fastholdt mot forskyvning i en av retningene, beregnes ikke knekking for den retningen. Knekking beregnes etter formel (6.46) i EC3 hvor N_{Ed} er dimensjonerende trykkraft, og $N_{b,Rd}$ er dimensjonerende knekkapasitet i staven [28].

Videre ser man på kombinasjonen av knekk lengde og den relative slankheten til søylen vist i formel (6.50). Hvor L_{cr} er knekk lengden og i er treghetsradien i den retningen vi kontrollerer for.

Deretter går man inn i figur 6.4, se vedlegg D.3.1 med den relative slankheten funnet, samt gjeldene knekkingskurve for tverrsnittet, og finner reduksjonsfaktoren, se vedlegg D.3.2 og D.3.3. Reduksjonsfaktoren har alltid en verdi på mellom 0 og 1,0. Dernest beregner man dimensjonerende knekk kapasitet med formel (6.46).

7.5 Vipping

«En stav uten sideveis fastholdelse påkjent med bøyning om hovedaksen bør påvises mot vipping (...)» [28], 6.3.2.1 (1). Kraftene fra taket og plasseringen av dem danner et eksentrisk moment i toppen av søylene, se figur 25.



Figur 25 Illustrasjon av innfestning og fastholding topp søyle

Momentet vil virke ved innfestningen av fagverksbjelkene i kanten av tverrsnittet. Vippelengden er lik knekk lengden ettersom forutsetningene for fastholding er like.

Vipping beregnes for hånd etter en forenklet metode undervist ved HVL. Bruker formel 6.50, men treghetsradien i er nå $0,29*b$ ettersom trykkflensen betraktes som en rektangulær søyle som knekker om sin sterke akse.

Leser av reduksjonsfaktorer fra figur 6.4 med knekkurve c og ny relativ slankhet, se vedlegg D.3.1 og D.3.4.

7.6 Kombinert knekking og vipping

«Staver med konstant tverrsnitt påkjent av bøyning og trykk» kontrolleres for kombinert virkning av knekking og vipping etter formel 6.61 og 6.62 i EC3, se vedlegg D.3.5.

7.7 Fagverksbjelker

Kontrollen av fagverksbjelker gjøres for hånd og i Maku ståls dimensjoneringsprogram. Fagverksbjelkene kontrolleres etter dimensjonerende last per løpemeter, se vedlegg D.1 og D.4. Beregningene er avhengig av faktorer vist i figur 26 under.

Ut fra parameterne satt inn får man ut forslag til fagverk basert på dimensjonerende lasten.

Takhelling (Velg takhelling)

1:40 1:16 1:10 1:8

Spennvidde

23,4 m

Dimensjonert last

Beregning av dim. last pr. løpemeter

Land: Norge

Sikkerhetsklasse: Sikkerhetsklasse 3

Sesone: 2 Os (Hordaland)

Avstand mellom sekundærbejelker: 7.2 m

Kontinuitetsfaktor: 1

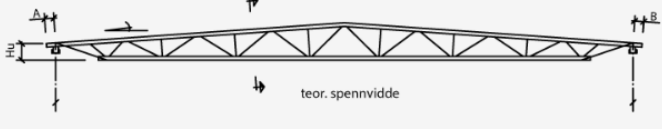
Egenvekt (tak): 0,4 kN/m²

Installasjonslast: 0,98 kN/m²

Dimensjonert last: 29,2 kN/m

Fagverk med buet overgurt

For å unngå feil ved valg av parametere eller feiltolkning av resultater vil alltid Maku Stål AB dimensjonere og konstruere det endelige fagverket. Dette er også et vilkår for å oppfylle vår SBS-godkjenning. Denne dimensjoneringen danner deretter grunnlaget for endelig tilbud og ordre.



Takhelling: 1:40 Spennvidde: 23,4 m Dim. last: 29,2 kN/m

Vis 10 rader Sø:

Hel ling	Hu (mm)	Q dim. (kN/m)	Betegnelse	Vekt (kg)	Nedb.-koeff.	
1:40	900	34,3	SU40 150-150-120-900	3250	5,5	Tilbud
1:40	900	30	SU40 150-120-100-900	2920	6,2	Tilbud
1:40	1000	29,3	SU40 120-120-100-1000	2630	5,7	Tilbud
1:40	1000	32,9	SU40 150-120-120-1000	3020	5,2	Tilbud
1:40	1100	31,8	SU40 120-120-100-1100	2670	4,9	Tilbud
1:40	1100	30,4	SU40 120-110-100-1100	2520	5,3	Tilbud

Viser 1 til 6 av 6 rader (filtrert fra totalt 64 rader)

← Forrige 1 Neste →

Figur 26 Maku dimensjoneringsprogram, Skjermdump Maku nettside [17]

8. Resultater

8.1 Grønt tak

De punktene med enkelt målbare konsekvenser blir nevnt her i resultater. Den første av disse er den økte kostnaden med grønne tak. Denne kostnaden vil komme fra den grønne takløsningen, økt dimensjonering av bærende struktur og vedlikehold. Disse vil bli nærmere gjennomgått i konstruksjonsresultatene. Samtidig viser studier at en kan få økt levetid på taket, noe som er kostnadsreduserende [10].

I resultatene under kommer det frem at avrenningen fra taket vil bli minimalt redusert med en grønn takløsning, se figur 27. Det mest aktuelle alternativet som presenterer seg når en tar hensyn til bærende konstruksjon, vil være en ekstensiv løsning. Denne vil bare gi en reduksjon på 15,74 l/s på det høyeste. Semi-intensiv og Intensiv blir uaktuelt grunnet for høy vekt per kvadratmeter.

BGF (blågrønn faktor) er blitt en viktig komponent ved fremtidig utbygging [16]. Med et nytt grønt tak vil PostNord Endelausmarka være i tråd med denne trenden. Det er også hensiktsmessig i forhold til opprettholdelse av biologisk mangfold. Bevarelsen av biomangfold kombinert med fornuftig forvaltning av vannressurser vil samsvare med nåværende KPA for Bjørnafjorden kommune. Det er rimelig å anta at denne vil samsvare med den som utarbeides nå etter kommunesammenslåingen. Endringen presentert i rapporten, vil være et positivt bidrag til LOD og for tre-trinns strategien til området.

Nedenfor ser du resultatene i rekkefølgen: ekstensiv, semi-intensiv, intensiv.

ekstensiv		semi-intensiv		intensiv	
vannføring forskjell i l/s (med KF)	minutter	vannføring forskjell i l/s (med KF)	minutter	vannføring forskjell i l/s (med KF)	minutter
15,748992	2	89,244288	2	199,487232	2
16,4052	5	92,9628	5	207,7992	5
7,921368	10	44,887752	10	100,337328	10
6,187104	15	35,060256	15	78,369984	15
5,296536	20	30,013704	20	67,089456	20
4,6872	25	26,5608	25	59,3712	25
4,21848	30	23,90472	30	53,43408	30
3,5154	40	19,9206	40	44,5284	40

Figur 27 Beregning vannføring, utklipp Excel

I alle tilfellene vil tak typene være med på å bidra positivt, men det er klart at ekstensive tak bidrar minimalt sett fra tallene. Videre er det viktig å merke at tallene oppgitt i tabellene kan ansees som optimale og/eller generøse. Avrenningskoeffisientene (φ) brukt er som følger:

1: ekstensive: $\varphi = 0,6$

2: semi-ekstensive: $\varphi = 0,4$

3: intensive: $\varphi = 0,1$

Eksempler på avrenningskoeffisienter (φ), kan finnes i veilederen for grønne tak i Kristiansand kommune. Denne veilederen er mer konservativ enn beregningen utført for oppgaven.

Type grønne tak	Tykkelse	Vegetasjon	Avrenningskoeffisient
Ekstensiv	6 – 20 cm	Sedum/ urter/ gress/ moser	0,8 – 0,85
Semi – intensiv	10 - 25 cm	Sedum/ urter/gress/moser/ planter/busker	0,7 – 0,8
Intensiv	15 – 50 cm	Gressplener/ Busker/ Trær	0,6 – 0,8

Spennvidden i avrenningskoeffisientene er avhengig av tykkelsen på vekstmediet.

(Verdiene for avrenningskoeffisientene er til vurdering, og kan endres ved senere oppdatering)

Tabell 11 Alternative avrenningskoeffisienter, [13]

8.2 Konstruksjonen

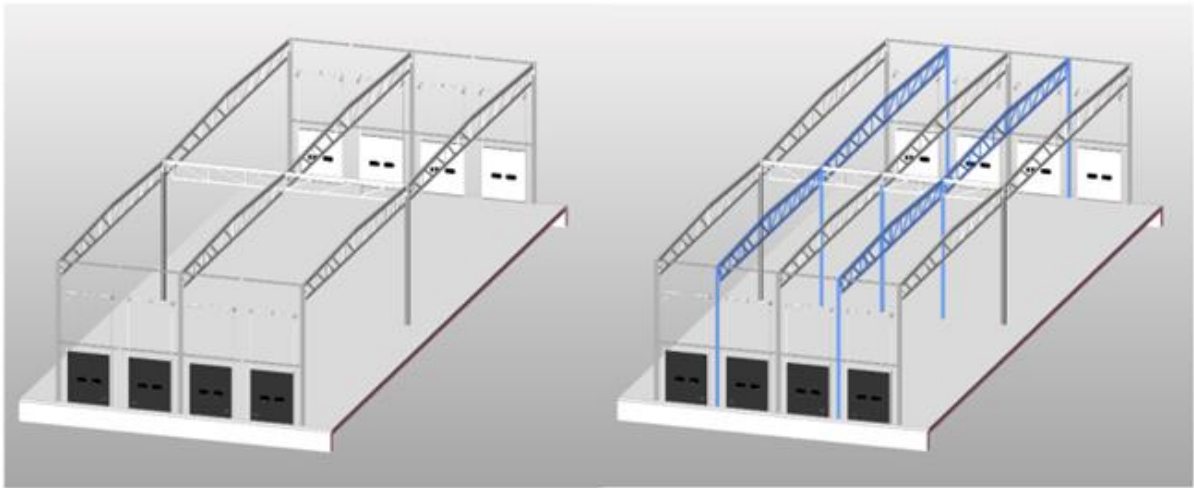
Resultatene fra beregningene viser at det ikke er tilstrekkelig overkapasitet i søylene og fagverksbjelkene for tilleggslaster på taket. Dette bekrefter resultatene vi fant i dokumentet delt fra HTB [20].

Søylene har en liten overkapasitet i forhold til utknekking om y- og x-akse, samt høy utnyttelse for vipping, se vedlegg D.2.3. Den kombinerte virkningen av knekking og vipping vil overskride kravene satt i EC3 og vil derfor ikke ha tilstrekkelig kapasitet for å håndtere tilleggslastene fra alternative takløsninger, se vedlegg D.3.5.

Videre er takets kapasitet tilstrekkelig for eksisterende løsning med en overkapasitet på 0,3 kN per løpemeter, se vedlegg D.1 og D.4.2. Det gir ikke rom for en “retrofit” (ettermontering) av

en grønn takløsning på eksisterende konstruksjon. Skal taket bære en ekstensiv løsning vil den gi en minste tilleggslast på 7,7 kN per løpemeter, som overskrider den ekstra kapasiteten tilgjengelig.

En aktuell løsning, er å legge inn mer bæring i konstruksjonen. Med dagens løsning er avstanden mellom fagverksbjelkene 7,2 meter. Dersom avstanden reduseres ved å legge en bjelke imellom, vil kapasiteten øke betraktelig. I det eksisterende bygget er det lagt inn søyler langs ytterveggen hver 3,6 meter mellom alle porter i fasaden. Dette åpner for muligheten til å legge inn fagverksbjelker på disse søylepunktene, om fundamentene tåler lasten. Avstanden mellom fagverksbjelkene og lastbredden vil da halveres, samt gi tilstrekkelig kapasitet for tilleggslastene fra alternative takløsninger, se vedlegg D.4.1. I tillegg må det legges til bærende søyler langs midten av bygget, se søyler og bjelker markert i blått i figur 28 under.



Figur 28 Illustrasjon av alternativ løsning til bæresystem, skjermdump Revit

Resultatet av denne løsningen vil gi lavere last per løpemeter for hele konstruksjonen. Videre vil dette føre til mindre last på fagverksbjelkene og da lavere aksialkraft ned i søylene, slik at de vil ha tilstrekkelig kapasitet for tilleggslastene.

9. Diskusjon

Vi ser i dag at bransjen utvikler seg til å ta i bruk grønne takløsninger. Funnene gjør det vanskelig å argumentere i fordel for “retrofitting” av grønt tak på PostNord Endelausmarka.

Det er viktig å evaluere kostnadene og fordelene ved å implementere grønne tak i byggeprosjekter. Grønne tak kan gi en rekke miljømessige fordeler, som energibesparelser, reduksjon av overvannsavrenning, forbedring av luftkvaliteten og estetiske kvaliteter. Imidlertid kan disse fordelene komme med økte investerings- og vedlikeholdskostnader, og det er derfor viktig å veie fordelene mot ulempene.

Første utfordring er avrenningen, da den blir for lav til å utgjøre en vesentlig forskjell. I tillegg er det stor usikkerhet rundt resultatene oppnådd. Dette grunnet mangel av konkret data for avrenningsfaktoren. I flere av kildene oppgis forskjellige verdier og det er viktig å notere seg at de beregningene gjort, er med de mest optimale verdiene.

Videre er det ikke et overvannsproblem på tomten, ettersom HTB i sitt arbeid sørget for at overvannsnivået ble opprettholdt på samme nivå som før utbygging. Hvis det skal bygges eller ettermonteres et grønt tak med motivasjon om reduksjon i avrenning, så burde en gå for intensiv takløsning.

Den største fordelene er det fremtidsrettede aspektet. Det antas at område blir et industriområde, og derav vil en «grønn øy» i et asfaltlandskap være nyttig for biomangfoldet. I tillegg kan det også være fornuftig med tanke på svevestøv, energibruk og brannmotstand. Disse er derimot ikke enkle å kvantifisere og fordelene blir da mer diskuterbar.

Ulempene er enklere å forholde seg til. Det vil uten tvil medfølge ekstra kostnader med et grønt tak om en velger å prosjektere det med fra starten eller å ettermontere. Videre vil vedlikeholdsarbeid på taket øke, som følge av vedlikehold og skjøtsel av tak og planter.

Fordelen med å tilføye grønne takløsninger på eksisterende konstruksjoner er at det kan være tidsbesparende og kostnadseffektivt. I tillegg åpner det opp muligheten for å utnytte takarealet på flere bygninger. Utfordringen ved «retrofiting» ligger i bæreevnen til eksisterende konstruksjon og om denne har tilstrekkelig kapasitet for håndtering av tilleggslastene.

Beregningene for søylene viser høy individuell utnyttelse for aksialkraft og moment. Den høye utnyttelsen gjør at kapasiteten for kombinert virkning overskrides etter ligning 6.61 og 6.62. Den høye utnyttelsen av kapasiteten, kan komme av antakelsene gjort for innfestning av fagverksbjelker og momentoverføring ned i søylene. Overskridelsen er så stor at det må utføres tiltak for søylene.

Videre er det muligheter for å styrke eksisterende konstruksjon i Endelausmarka ved å tilføre ekstra fagverksbjelker og søyler. Løsningen vil da ikke være kostnadseffektiv eller tidsbesparende ettersom man må åpne konstruksjonen på ny for å gjennomføre utbedringene. PostNord-bygget har store pakkehåndterings- og sorteringsmaskiner som er planlagt og montert i forhold til konstruksjonen med egne tilpasninger. Innføring av nye bæreelementer gjør at man må stoppe produksjon og finne nye plasseringer til maskinene. Gjennomføringen av en slik tilpasning kan være utfordrende ettersom bygget allerede er i bruk til sitt formål.

Ved å inkludere grønne tak i tidligfasen kan man innledningsvis prosjektere for alternative takløsninger. Det gjør at man unngår de konstruksjonsmessige utfordringene som oppstår ved ettermontering. I tillegg kan man tidlig evaluere fordelene opp mot ulempene, analysere kostnader og fastslå om en grønn takløsning er verdt investeringen.

10. Konklusjon

Innledningsvis skriver vi at alternative grønne takløsninger har vist seg å være effektiv for håndtering og fordrøying av overvann. I en reell situasjon er dette vanskelig å støtte ut ifra data tilgjengelig og beregningene i rapporten, da usikkerheten i avrenningsfaktoren er betydelig.

Basert på funnene i denne rapporten, er det mulig å implementere en lignende løsning på fremtidige bygg med lik utførelse. Imidlertid er det mer hensiktsmessig å inkludere dette i tidlig prosjektering, ettersom ettermontering viser seg å være vanskelig å gjennomføre med de nåværende forutsetningene. Bakgrunnen for at det ikke er gjennomførbart er store spenn og breddeavstander. En løsning med tilstrekkelig kapasitet til å bære et grønt tak krever mer stål og vil derfor føre til økte kostnader.

Det konkluderes med at byggets konstruksjon slik den står i dag, ikke vil håndtere ettermontering av en grønn takløsning. Potensielt kan det utføres for seksjoner av taket, noe som ikke er sett videre på i denne oppgaven. Det er mulig å endre lignende konstruksjoner for fremtiden med justeringer i materialvalg og materialtyper, slik at konstruksjonen oppnår tilstrekkelig kapasitet. Dette kan best gjennomføres ved prosjektering i tidligfasen av et prosjekt.

En grønn takløsning er beviselig en løsning som gir økt fordrøyning, redusert avrenning og ved store takflater kan det gi en betydelig effekt. Dette er derimot vanskelig å legge frem teoretisk fordi avrenningstallene har store variasjoner i faglitteraturen. Grønn takløsning kan gi økt levetid fordi taket beskyttes av vegetasjon og vekstlag, samt at UV strålingen ikke når ned og tærer på belegget.

Videre arbeid

For videre arbeider for denne rapporten, finnes det mange muligheter. Noen av de mest aktuelle er:

- Se på muligheten for å legge stedvis grønne løsninger for taket og se om lastpåvirkingen er liten nok til at eksisterende konstruksjon kan bære en slik fordelt last.
- Endring i tiltak for områdene rundt bygget, se på mulighetene ved fordrøyningsbasseng sett opp mot en grønn takløsning.
- Se på en ny og annerledes konstruksjon, fremfor å modifisere eksisterende konstruksjon som oppgaven her gjør.
- Andre grå eller blågrønne løsninger for taket.

Kildeliste

- [1] «nou202020200012000dddpdfs.pdf», *Næringslivets betydning for levende og bærekraftige lokalsamfunn*.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/6e57b898abea46f1bde2108f82ce1796/no/pdfs/nou202020200012000dddpdfs.pdf> (åpnet 21. februar 2023).
- [2] «544.823 Sedumtak - Byggforskserien», *Byggforsk.no*, 1. november 2013.
<https://www.byggforsk.no/dokument/4093/sedumtak> (åpnet 27. februar 2023).
- [3] «I-1-Notat-Overvann-Åsamyra.pdf». HTB, 10. mars 2021.
- [4] «Eurokoder | standard.no». <https://www-standard-no.galanga.hvl.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/> (åpnet 17. februar 2023).
- [5] «NS-EN-1990.pdf». Standard Norge, 1. mai 2016. [Online]. Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=814847>
- [6] «Revit-programvare | Se priser, og kjøp Revit 2023».
<https://www.autodesk.no/products/revit/overview> (åpnet 4. mai 2023).
- [7] B. C. Braskerud, «Grønne tak for flomdemping».
- [8] M. Manso, I. Teotónio, C. M. Silva, og C. O. Cruz, «Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, bd. 135, s. 110111, jan. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110111.
- [9] «m627.pdf», 2016.
<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m627/m627.pdf> (åpnet 4. mai 2023).
- [10] «NS-3840-Grønne-tak.pdf». Standard Norge, 1. mai 2016. [Online]. Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN-1990>
- [11] «Klimautfordringer - Miljødirektoratet», *Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency*. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/klimatilpasning-krever-kunnskap/klimautfordringer/> (åpnet 8. februar 2023).

- [12] «Flom - NVE». <https://www.nve.no/naturfare/laer-om-naturfare/flom/> (åpnet 8. februar 2023).
- [13] «KPA_Os_planomtale_2012.doc». https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwebhotel3.gisline.no%2FGisLinePlanarkiv%2F4624%2F20041000%2FDokumenter%2FKPA_Os_planomtale_2012.doc&wdOrigin=BROWSELINK (åpnet 27. februar 2023).
- [14] «FLL_greenroofguidelines_2018.pdf». https://commons.bcit.ca/greenroof/files/2019/01/FLL_greenroofguidelines_2018.pdf (åpnet 17. mars 2023).
- [15] «Hva er LOD?», *NorgesJord*. <https://norgesjord.no/hva-er-lod/> (åpnet 22. februar 2023).
- [16] «blagronn-faktor---brukerveiledning-for-blagronn-faktor-1.pdf», 3. februar 2020. <https://www.nordrefollo.kommune.no/globalassets/nordre-follo/tjenester/plan-bygg-og-eiendom/byutvikling-og-arealplaner/dokumenter-og-veiledere/blagronn-faktor---brukerveiledning-for-blagronn-faktor-1.pdf> (åpnet 14. februar 2023).
- [17] «Overvannsveileder».
- [18] T. M. Muthanna, L. A. Schärer, og E. Sivertsen, «Grønne tak er et populært overvannstiltak som bidrar til forsinkelse av avrenningen og redusert avrenningsvolum etter nedbørshendelser. Den rasjonelle metoden er en mye brukt metode for dimensjonering av overvannstiltak, basert på en avrenningskoeffisient. En nylig avlagt masteroppgave ved NTNU viser hvordan dette er en lite egnet metode med klare begrensinger for grønne tak.».
- [19] «Grønne tak : VA-Miljø». <https://www.va-blad.no/gronne-tak/> (åpnet 4. mai 2023).
- [20] «Forutsetninger for prosjektering konstruksjon.pdf». HTB, 19. april 2021.
- [21] «FDV», *Bergknapp - Sedum og grønne løsninger*. <https://www.bergknapp.no/fdv> (åpnet 7. februar 2023).
- [22] «Offert - Maku Stål AB». <https://www.maku.se/default.asp?ID=OFFERT&sLang=sv-se> (åpnet 16. februar 2023).
- [23] «Give Staal tilbud».

[24] «NS-EN-1991-1-3 SNØLAST.pdf». 1. mai 2018. [Online]. Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1004200>

[25] «NS-EN-1991-1-4 VINDLAST.pdf». 1. september 2009. [Online]. Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=392208>

[26] «Norgeskart».
<https://norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=10&lat=6710448.52&lon=-34022.02&markerLat=6707846.833450958&markerLon=-34541.20678836391&p=searchOptionsPanel&drawing=7jgmIocBXDWW3rmMu6jl&sok=Kolbakknova> (åpnet 9. mai 2023).

[27] *PostNord Åpningsfilm*, (24. oktober 2022). Åpnet: 9. mai 2023. [Online Video].
Tilgjengelig på: <https://www.youtube.com/watch?v=WuGnsCrX9q4>

[28] «Stålstandard_1993-1-1 Almenne regler .pdf». Standard Norge, 1. juni 2015. [Online].
Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=755701>