

Takdesign for fremtiden: En studie i bygningstekniske løsninger på Teknostallens komplekse takkonstruksjon

Futuristic Roof Design: Exploring Building Technical Solutions for the
Complex Roof Construction of Teknostallen

Trondheim Mai 2024

Marius-Alexander Malmo Haugdal

Daniel André Remen Melland

Pernille Undersåker

Intern veileder:

Bozena Dorota Hrynyszyn

Eksterne veiledere:

Tommy Adolfsen

Inga Krattebøl

Prosjektnr.:

2024 – 43


Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel: Takdesign for fremtiden: En studie i bygningstekniske løsninger på Teknostallens komplekse takkonstruksjon		Prosjektnr.: 2024 – 43
Futuristic Roof Design: Exploring Building Technical Solutions for the Complex Roof Construction of Teknostallen		Dato: 21.05.2024
Forfattere: Marius-Alexander Malmo Haugdal Daniel André Remen Melland Pernille Undersåker		Rapporten er ÅPEN
 NTNU Fakultet for ingeniørvitenskap Institutt for bygg- og miljøteknikk		Fordypning: Byggteknikk
Intern veileder: Bozena Dorota Hrynyszyn	Eksterne veiledere: Tommy Adolfsen og Inga Krattebøl, NCC Building Nordics	
Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål: Prosjektet fokuserer på å undersøke og adressere utfordringer og risikofaktorer knyttet til kompakte tak, blågrønne tak og glasstak. Målet er å utforske tekniske aspekter av komplekse takkonstruksjoner, med fokus på identifisering av risikoområder. Byggtekniske løsninger analyseres og kvalitetssikres for å forebygge fuktskader, sørge for strukturell integritet og gode overgangspunkter mellom kritiske deler av taket på Teknostallen.		
Stikkord fra prosjektet: Komplekse kontorbygg, kompakte tak, blågrønne tak, glasstak, fuktskader, forebyggende tiltak, bygningstekniske løsninger.		

Forord

Bacheloroppgaven er en avsluttende oppgave på ingeniørutdanningen Byggingeniør med studieretning Byggteknikk ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitetet. Omfanget av oppgaven skal tilsvare en studiebelastning på 20 studiepoeng som tilsvarer om lag 500 timer per student.

I samarbeid med NCC Building Nordics har gruppen valgt å utforske bygningstekniske utfordringer og identifisere risikoområder knyttet til den komplekse takkonstruksjonen ved deres prosjekt i Trondheim, Teknostallen. Utgangspunktet for oppgaven er oppføringen av det som blir Trondheims største kontorbygg med kreativ arealutnyttelse på takkonstruksjonen.

Datagrunnlaget tilknyttet bygget er delt med gruppen av eksterne veiledere fra NCC. Det presiseres at datagrunnlaget gruppen har anvendt i oppgaven er utarbeidet av NCC, KLP, Multiconsult og PIR2, og at detaljer samt annen data gruppen har presentert i oppgaven kan avvike fra faktisk resultat etter ferdigstillelse av bygget.

Årsakene til at gruppen ønsket å skrive den avsluttende oppgaven på ingeniørutdanningen om akkurat dette prosjektet og temaet var at Teknostallen er et fremtidsrettet byggeprosjekt som omfatter mange fagområder, krever innovative bygningsteknikker og presenterer unike utfordringer og risikoer.

Vi ønsker å rette en stor takk til våre eksterne veiledere ved NCC, Tommy Adolfsen og Inga Krattebøl, for imøtekommende og effektiv veiledning underveis i prosessen. Takk til Trond-Espen Lorentzen, prosjektsjef for Teknostallen, for å tilrettelegge for dette samarbeidet. Sist, men ikke minst, en spesiell takk til vår interne veileder, Bozena Dorota Hrynyszyn, førsteamanuensis ved Institutt for bygg- og miljøteknikk v/NTNU, for inspirasjon og lærerik veiledning både underveis i oppgaven og gjennom spesialiseringen vår.

Trondheim 21. mai 2024,



Marius-Alexander Malmo Haugdal



Daniel André Remen Melland



Pernille Undersåker

Sammendrag

Denne oppgaven har som mål å utforske bygningstekniske løsninger for den komplekse takkonstruksjonen på Teknostallen. Teknostallen er et kontorbygg som er under utførelse i Trondheim. Taket på Teknostallen vil bestå av en kompakt takkonstruksjon som er delvis dekt med et blågrønt tak som muliggjør bedre overvannshåndtering og gir taket kvaliteter med tanke på rekreasjon. I midten av bygget dekker en stor glasskonstruksjon et atrium med en innendørs hage og sørger for dagslys i kontorene i de sentrale delene av bygget.

For å samle kunnskap om de benyttede bygningsteknikkene er grundig litteratursøk nødvendig. Det eksisterende kunnskapsgrunnlaget er evaluert gjennom litteraturstudier og innsamling av erfaring fra prosjekter hvor lignende takkomponenter er brukt.

Den første delen av oppgaven fokuserer på generell kunnskap om kompakte tak, blågrønne tak og glasstak. Dette inkluderer hovedtyper, fordeler, utfordringer, risikomomenter og råd for prinsipiell oppbygging. En forklarende del med fokus på fuktanalyse og fuktskader informerer om årsakene til skader i kompakte tak og hvordan de kan forebygges.

Visse bygningsfysiske premisser må adresseres ved prosjektering av Teknostallen. Et premissdokument utvikles for å gi en oversikt over relevante krav til prosjektet. Dette inkluderer aspekter tilknyttet klima, prosjektspesifikke krav, teknisk forskrift og anbefalinger til løsninger som tilfredsstiller kravene.

Formålet med den spesifikke delen av oppgaven er å analysere risikoområdene på Teknostallens tak. Den kompakte takkonstruksjonen og drenerende egenskaper analyseres, sammen med risikoområder som overganger mellom ulike takvarianter, gjennomføringer og installasjoner. Funnene er deretter diskutert og evaluert.

Taket på Teknostallen vil bestå av områder med mange ulike funksjoner og krever unike løsninger som forebygger bygningsskader.

Abstract

This thesis aims to explore building technical solutions for the complex roof construction of Teknostallen. Teknostallen is an office building under construction located in Trondheim. The roof of Teknostallen will consist of a compact roof construction that is partly covered with a green-blue system that enables better stormwater handling and gives the roof recreational qualities. In the middle of the building, a large glass construction covers an atrium with an indoor garden and provides daylight for the offices in the central parts of the structure.

In order to gather knowledge about the used building techniques, thorough research is needed. The existing knowledge base is evaluated through literature studies and gathering of experiences from projects where similar roof components are used.

The first part of the thesis focuses on general knowledge about compact roofs, green-blue roofs and glass roofs. This includes main types, advantages, challenges, risk factors and advice for the construction of these roof types. An explanatory part focusing on moisture analysis and damages caused by moisture informs about sources of damages in compact roofs and how these can be prevented.

Certain premises regarding building physics need to be addressed when planning the building process of Teknostallen. A premise document is developed to describe an overview of the demands relevant to the project. This includes aspects concerning climate, project specific demands, technical regulations and recommendations for solutions that address these issues.

The purpose of the specific part of the thesis is to analyze the risk areas of the roof of Teknostallen. The compact roof construction and its runoff qualities is analyzed, along with risk areas like transitions between roof types, penetrations and installations. The findings are then discussed and evaluated.

The roof of Teknostallen will be comprised of areas with many different functions that require unique solutions that prevent building damages.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste	viii
Tabelliste	xi
Symbol- og ordforklaring	xii
1.0. Innledning	1
2.0. Kompakte tak	2
2.1. Hovedtyper.....	3
2.1.1. Rettvendte tak.....	3
2.1.2. Omvendte tak	4
2.1.3. Duotak.....	4
2.2. Prinsipiell oppbygging	5
2.2.1. Fallforhold og avrenning.....	5
2.2.2. Underlag og dampsperre	6
2.2.3. Varmeisolasjon	7
2.2.4. Taktekning og beslag	11
2.3. Fordeler	12
2.4. utfordringer	12
2.4.1. Prosjekteringsfase.....	12
2.4.2. Utførelsesfase.....	13
2.4.3. Drift- og vedlikeholdsfase	13
3.0. Blågrønne tak	14
3.1. Hovedtyper.....	16
3.1.1. Ekstensive grønne tak.....	17
3.1.2. Intensive grønne tak.....	17
3.1.3. Semi-intensive grønne tak.....	18
3.1.4. Blågrå tak.....	18
3.2. Risikomomenter blågrønne tak	19
3.2.1. Inspeksjon av fuktsikring.....	20
3.2.2. Overvannshåndtering.....	20
3.2.3. Botaniske forhold.....	21

3.2.4. Brann.....	23
3.3. Fordeler og utfordringer med blågrønne tak	24
3.3.1. Overvannshåndtering.....	24
3.3.2. Kjølende effekt	25
3.3.3. Akustikk	25
3.3.4. Kostnader og levetid	26
3.3.5 Vedlikehold	27
3.3.6. Miljø og arealutnyttelse	27
4.0. Glasstak og overlyselement	28
4.1. Hovedtyper.....	29
4.1.1. Glassgårder.....	29
4.1.2. Overlyselement og røykventilasjon	30
4.2. Risikomomenter	31
4.2.1. Vanngjennomtrenging.....	31
4.2.2. Mekaniske laster og energikrav	32
4.3. Fordeler og utfordringer.....	34
4.3.1. Dagslys.....	34
4.3.2. Akustikk.....	35
4.3.3. Temperatur- og energiforhold	36
4.3.4. Forskning	36
5.0. Fuktanalyse.....	37
5.1. Transportformer og relativ fuktighet.....	37
5.2. Sperresjikt	39
5.2.1. Dampsperre.....	39
5.2.2. Vindsperre.....	40
5.3. Fuktskader	41
5.3.1. Skadekilder i kompakte tak	43
5.3.2. Forebyggende tiltak og strategier.....	47
5.4. Simuleringer – WUFI og THERM.....	50
6.0. Teknostallen – Bygningsfysisk premissdokument	51
6.1. Klima	51
6.1.1. Lokalklima.....	51
6.1.2. Inneklima.....	53
6.1.3. Støyforhold.....	53
6.2. Prosjektspesifikke krav	54

6.2.1. BREEAM.....	54
6.2.2. WELL.....	54
6.3. Byggetekniske forskrifter	54
6.3.1. Fukt.....	55
6.3.2. Nedbør.....	56
6.3.3. Energi og lufttetthet	57
6.3.4. Brann.....	58
6.3.5. Termisk inneklima.....	62
6.3.6. Lys og lyd.....	63
6.4. Vurderinger og forslag til løsninger.....	64
6.4.1. Kompakt takkonstruksjon.....	64
6.4.2. Isolasjon og takteking.....	64
6.4.3. Avrenning.....	65
6.4.4. Blågrønt tak	65
6.4.5. Løpebane og treningsapparater.....	67
6.4.6. Glasstak.....	68
6.4.7. Brann.....	68
6.4.8. Akustikk og lys.....	70
7.0. Teknostallen – Oppbygging av spesifikke dekker.....	72
7.1. Situasjonsplan	72
7.2. Harde dekker.....	73
7.2.1. Fallunderlag og betongdekke.....	73
7.2.2. Grusdekke	75
7.2.3. Tredekke.....	76
7.3. Vegetasjonsfelt.....	77
7.3.1. Ferdigplen og dyrkningskasser.....	78
7.3.2. Trær og oppbygd terreng.....	79
8.0. Teknostallen – Analyse av risikoområder	80
8.1. Kompakt tak.....	80
8.1.1. Simuleringer i WUFI.....	80
8.1.2. Tolkning av resultater.....	84
8.2. Avrenning	85
8.2.1. Fallplan.....	85
8.2.2. UV-sluk	88
8.3. Gjennomføringer og installasjoner.....	92

8.3.1. Overlyselement.....	92
8.3.2. Treningsapparater	94
8.3.3. Takoppbygg.....	96
8.4. Overganger.....	101
8.4.1. Løpebane – Treningsområde	101
8.4.2. Glasstak – Sargvegg.....	102
8.4.3. Rampe – Terrassegulv.....	105
9.0. Forskning og Utvikling (FoU).....	106
10.0. Diskusjon	107
11.0. Konklusjon.....	111
Referanser.....	112
Vedlegg.....	123

Figurliste

Figur 1: Illustrasjon av kompakte tak.	2
Figur 2: ZEB-laboratoriet i Trondheim.....	2
Figur 3: Varianter av kompakte tak.	3
Figur 4: Detalj på innvendig nedløp.	5
Figur 5: Illustrasjon av tett sluk og montert overløp.....	5
Figur 6: Prinsipiell oppbygging av kompakte tak.....	6
Figur 7: Illustrasjon som viser en plate av mineralull, steinull.....	7
Figur 8: Illustrasjon som viser en plate med EPS isolasjon.....	8
Figur 9: Illustrasjon som viser en plate med XPS isolasjon.	8
Figur 10: Illustrasjon over en plate med PIR isolasjon.....	9
Figur 11: Asfaltmembran, rullprodukt.....	11
Figur 12: PVC takmembran, rullprodukt.....	11
Figur 13: Oppbygning av blågrønne tak.	14
Figur 14: Oppbygning av sedumtak.....	16
Figur 15: Oppbygning av ekstensive tak med sedum.	17
Figur 16: Tykkelser for vekstunderlag.....	18
Figur 17: Involverte fagdisipliner for blågrønne tak.....	19
Figur 18: Eksempel på nedgravd vanningsanlegg.	21
Figur 19: Eksempler på anlegg med dryppvanning.....	22
Figur 20: Inspeksjonskum ved sluk på sedumtak.	23
Figur 21: Sammenligning av takflater ved Høvringen forsøksfelt.	24
Figur 22: Temperaturvariasjoner i luft, under grønne tak og under asfaltbelegg.	25
Figur 23: Grønt tak og referansetak på garasje i Oslo.	26
Figur 24: Glassgård.....	28
Figur 25: Glasstak.....	28
Figur 26: Glassgård på NTNU - Dragvoll.	29
Figur 27: Overlyselement på kompakt tak.....	30
Figur 28: Profilsystem hvor vann som trenger inn i falsen på horisontale profiler ledes til falsen i vertikalprofil	31

Figur 29: Overlyselement med isolert karm på utsiden.	33
Figur 30: Sammenheng mellom helse, estetikk og energiproduksjon.	34
Figur 31: Fast skyggesystem som fungerer positivt på akustikken i rommet.	35
Figur 32: Elektrokromisk glass.	36
Figur 33: Enkel illustrasjon over relativ fuktighet.	38
Figur 34: Smart dampsperre, variabel S_d -verdi.	39
Figur 35: Detalj inntekning av sluk festet i renne med lokal forsenkning.	40
Figur 36: Fordeling av skadekilder for prosessforårsakede byggskader.	41
Figur 37: Vanlige skader og feil på flate kompakte tak.	43
Figur 38: For lite fall mot sluk og manglende overløp fører til vanddammer på tak.	44
Figur 39: For lite fall mot sluk og hindringer.	44
Figur 40: Kompakt tak med bindingsverk av tre utsatt for skade ved uheldig utførelse.	45
Figur 41: Eksempel på gjennomføringer plassert på en måte slik at tekkearbeidet blir utfordrende å utføre på riktig måte.	46
Figur 42: Kompakt takkonstruksjon der test er utført. Legg merke til rødfargen som er brukt. .	48
Figur 43: Smartex overvåkningssystem.	49
Figur 44: IVF-kurver for Trondheim (Tyholt).	52
Figur 45: Støysonekart utarbeidet av SINTEF.	53
Figur 46: Dokumentasjonsfaser brannsikkerhet.	58
Figur 47: Eksempel på oppbygging av blågrønt tak.	65
Figur 48: Eksempel på overgang mellom grønt dekke og fasade.	66
Figur 49: Eksempel på utforming av sluk.	67
Figur 50: Oppdeling av brennbar isolasjon med felt av ubrennbar isolasjon.	69
Figur 51: Rørgjennomføring i kompakt tak med felt av ubrennbar isolasjon.	69
Figur 52: Overgang mellom kompakt tak og parapet med ubrennbar isolasjon.	70
Figur 53: Eksempel på hvordan gjennomføringer kan utføres.	71
Figur 54: Eksempler på plassering av tekniske installasjoner.	71
Figur 55: Situasjonsplan av taket med oversikt over de ulike dekkene.	72
Figur 56: Fallunderlag, treningsareal (venstre). Betongdekke, løpebane (høyre)	73
Figur 57: Grusdekke, dyrkningsområde (venstre). Grusdekke, gangvei (høyre)	75
Figur 58: Dekke 5 – Tredekke, takterrasse	76

Figur 59: Detalj som viser dekke for områder med vegetasjon.	77
Figur 60: Detalj ferdigplenen (venstre) og dyrkningskasser (høyre).....	78
Figur 61: Oppbygning av blågrønt tak med trær (venstre) og oppbygd terreng (høyre)..	79
Figur 62: Kompakt tak med EPS og XPS. Brukes som grunnlag for simulering i WUFI.....	81
Figur 63: Kompakt tak med PIR og mineralull. Brukes som grunnlag for simulering i WUFI.. .	81
Figur 64: Totalt vanninnhold i kompakt tak med EPS og XPS.	82
Figur 65: Relativ fuktighet og temperatur i isolasjonslag av EPS.	82
Figur 66: Totalt vanninnhold i kompakt tak med PIR og mineralull.....	83
Figur 67: Relativ fuktighet og temperatur i isolasjonslag av PIR.....	83
Figur 68: Fallplan for taket på Teknostallen.	85
Figur 69: Fallplan for glasstak over atrium.....	86
Figur 70: Horisontalsnitt basert på BIM-modell som viser fall på glasstak..	87
Figur 71: Renne og sluk mellom glasstak over det lille atriet..	87
Figur 72: Detaljtegning av sluk på område med blågrønt tak.....	88
Figur 73: Sluk på taket på Teknostallen.	89
Figur 74: Scenario 1 i THERM: Uten snø.	90
Figur 75: Scenario 2 i THERM: 10 cm kompakt snø med termisk konduktivitet 0,2 W/(mK). ..	90
Figur 76: Scenario 3 i THERM: 10 cm lett nysnø med termisk konduktivitet 0,05 W/(mK).	91
Figur 77: Overlyselement..	92
Figur 78: Fundamentering av treningsapparater.....	94
Figur 79: Takoppbygg fra BIM-modell.	96
Figur 80: Fundament takoppbygg.....	96
Figur 81: Takoppbygg.....	98
Figur 82: Takoppbygg på punktfundamenter og oppbrett av takmembran mot fasade.....	100
Figur 83: Overgang mellom plantefelt, gangvei, løpebane og treningsområde.....	101
Figur 84: Oversiktstegning av glasstak som viser hvor detalj på Figur 85 er tegnet fra.	102
Figur 85: Sargvegg ved glasstak.....	103
Figur 86: Overgang rampe og terrassegulv.....	105

Tabelliste

Tabell 1: Egenskaper til fire isolasjonstyper.....	10
Tabell 2: Klimadata for Trondheim.	51
Tabell 3: Klimapåslag for kraftig nedbør.....	52
Tabell 4: Oversikt over krav tilknyttet fukt i byggt teknisk forskrift (TEK17)	55
Tabell 5: Preaksepterte ytelser tilknyttet fukt i byggt teknisk forskrift (TEK17).	55
Tabell 6: Oversikt over krav tilknyttet nedbør i byggt teknisk forskrift (TEK17).	56
Tabell 7: Preaksepterte ytelser tilknyttet nedbør i byggt teknisk forskrift (TEK17).	56
Tabell 8: Oversikt over energikrav i byggt teknisk forskrift (TEK17).	57
Tabell 9: Oversikt over brannkrav i byggt teknisk forskrift (TEK17).	59
Tabell 10: Preaksepterte løsninger tilknyttet brann i byggt teknisk forskrift (TEK17).	60
Tabell 11: Kategorisering av risikoklasser..	60
Tabell 12: Kategorisering av brannklasser basert på risikoklasser og antall etasjer.....	61
Tabell 13: Konsekvenser for ulike brannklasser.....	61
Tabell 14: Krav til brannmotstand for bærende bygningsdeler basert på brannklasser.....	62
Tabell 15: Krav og anbefalinger for termisk inn klima i byggt teknisk forskrift (TEK17).	62
Tabell 16: Oversikt over krav for lyd og vibrasjoner i byggt teknisk forskrift (TEK17).	63
Tabell 17: Preaksepterte ytelser for lyd og vibrasjoner i byggt teknisk forskrift (TEK17).	63
Tabell 18: Oversikt over krav for lys i byggt teknisk forskrift (TEK17).....	63
Tabell 19: Preaksepterte ytelser for lys i byggt teknisk forskrift (TEK17).	63

Symbol- og ordforklaring

Parapet: Er en forlengelse av veggen eller muren på et tak, ofte brukt på kompakte tak.

Sargvegg: Også kalt brystning, er en liten vegg som fungerer som en skillevegg eller en forhøyning.

Migreringssperre: Er en sperre for å hindre myknervandring mellom PVC og EPS, samtidig som den innehar brannhemmende egenskaper.

Byggfukt: Innebygd overskuddsfukt i byggematerialer fra byggefasen.

Brannklasse F: Ingen krav til produktets egenskaper ved brannpåvirkning.

EPD: Environmental Product Declaration, miljødeklarerer. Et kortfattet tredjeparts verifisert og registrert dokument med produktets miljøprestasjon gjennom hele livssyklusen.

LCA: Life-Cycle Assessment er en systematisk livsløpsanalyse og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom livsløpet til et produkt.

A1 – C4: Miljøpåvirkning av et materiale fra produksjon til deponering.

Kuldebro: Er en bygningsdel eller en komponent som leder varme og kulde.

Fuktkonveksjon: Er transport av vanddamp med luftstrømmer fra et høyere til lavere lufttrykk.

Lystransmisjon: Betyr overføring av lys, for eksempel gjennom optiske fibre.

Lydtransmisjon: Overføring av lyd, gjennom luft eller andre medier.

Lydabsorpsjon: Evnen til et materiale eller en overflate til å absorbere lydenergi.

Visuell komfort: Følelse av velvære som indirekte bidrar til høyere produktivitet og kvalitet på arbeidet.

Visuell ytelse: Evne til å utføre visuelle oppgaver selv under vanskelige omstendigheter og i lengre perioder.

Termisk konduktivitet: Betyr varmeledningsevne og angir stoffets eller materialets evne til å lede varme ved termisk konduksjon.

U-verdi: Betyr varmegjennomgangskoeffisient og er en måling som blir brukt for å angi en bygningsdels varmeisolerende evne.

Sd-verdi: Angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme diffusjonsmotstand som nevnte materialsjikt.

Dagslysfaktor, DF: Dagslysfaktor angir forholdet mellom belysningsstyrke mot en horisontal flate inne og en tilsvarende horisontal flate ute med fri horisont og jevnt overskyet himmel.

Relativ fuktighet, (RF%): Forholdet mellom vanndampmengde i luft og maksimal vanndampmengde som luften kan inneholde (mettet). Hvis RF=100% blir luften omgjort til kondens.

Evapotranspirasjon: «Total mengde vann som fordamper fra jord eller vannoverflate ved evaporasjon pluss vann som utskilles fra vegetasjon ved transpirasjon. Evaporasjon er avgivelse av vanndamp fra et fysisk objekt, mens transpirasjon er avgivelse av vanndamp fra et levende biologisk materiale. Når disse to prosessene sees samlet har vi evapotranspirasjon» [1].

1.0. Innledning

Teknostallen er et moderne og urbant bygningsprosjekt som integrerer komplekse takkonstruksjoner for å utnytte verdifullt areal. Det kompakte taket på Teknostallen inkluderer blågrønne områder med grønnsaksdyrking, friluftsområder for brukerne av bygget, treningsfasiliteter som utendørs løpebane og takkonstruksjon av glass. Mens slike design gir flere fordeler som økt utnyttelse av areal, estetisk appell og miljømessige fordeler som overvannshåndtering og tilskudd til mangfoldet i økosystemet, presenterer de også unike utfordringer og risikoer. Oppgaven fokuserer på å undersøke og adressere disse utfordringene, spesielt i forhold til risikofaktorer knyttet til konstruksjonens kompleksitet og materialvalg.

Taket er bygningens femte fasade og er den bygningsdelen som blir utsatt for de største klimatiske påkjenningene. Derfor vil hovedtyper av kompakte tak, blågrønne tak og glasstak presenteres i tillegg til deres prinsipielle oppbygging for å tilfredsstille tekniske krav. Fordeler, utfordringer og risikomomenter ved de ulike takkonstruksjonene vil belyses og diskuteres.

Oppgaven er avgrenset til forebygging av fuktskader, sørge for strukturell integritet og gode overgangspunkter mellom utvalgte kritiske deler av taket. Basert på tilgjengelig forskning og statistikk er det utarbeidet en oversikt over risikoområder i kompakte konstruksjoner. Det er fremstilt forslag til tiltak og strategier for å forebygge fuktskader.

For å sørge for at takkonstruksjonen oppfyller tekniske krav er det opprettet et bygningsfysisk premissdokument. Dokumentet tar for seg kapitler i byggteknisk forskrift (TEK17) som er relevante for prosjektet og viser forslag til løsninger for utvalgte risikoområder.

Videre anvendes teorigrunnlaget til å kvalitetssikre bygningstekniske løsninger ved Teknostallen. Oppbygging av spesifikke dekker presenteres med tilhørende situasjonsplan. Analyse av risikoområder er utført på bakgrunn av snitt- og detaljtegninger. Simuleringsverktøyene WUFI og THERM er benyttet på utvalgte detaljer. Dette er gjort med ønske om å redusere risikoen for fuktskader og dermed sikre høy kvalitet og lengre holdbarhet for Teknostallens komplekse takkonstruksjon.

2.0. Kompakte tak

Kompakte tak, også kalt varme tak, er ideelle for bygninger som krever høy energieffektivitet og gir god beskyttelse mot vind og regn [2]. For moderne bygninger er det et attraktivt valg hvor holdbarhet og estetikk er sentrale faktorer. I tillegg gir kompakte takkonstruksjoner allsidige designmuligheter som blågrønne tak og takterrasser. Kompakte tak kan utformes som skrå og flate tak. Flate tak er ifølge SINTEF definert som tak med helning under 6 grader (1:10), mens skrå tak har helning over 6 grader [3]. For å tilfredsstille krav til avrenning bør flate tak ha en helning på minimum 1:40. Figur 1 og Figur 2 viser eksempler på kompakte tak. Dette kapittelet beskriver de ulike hovedtypene av kompakte tak og den prinsipielle oppbyggingen. Det viser også til ulike fordeler og utfordringer som knyttes til kompakte tak.



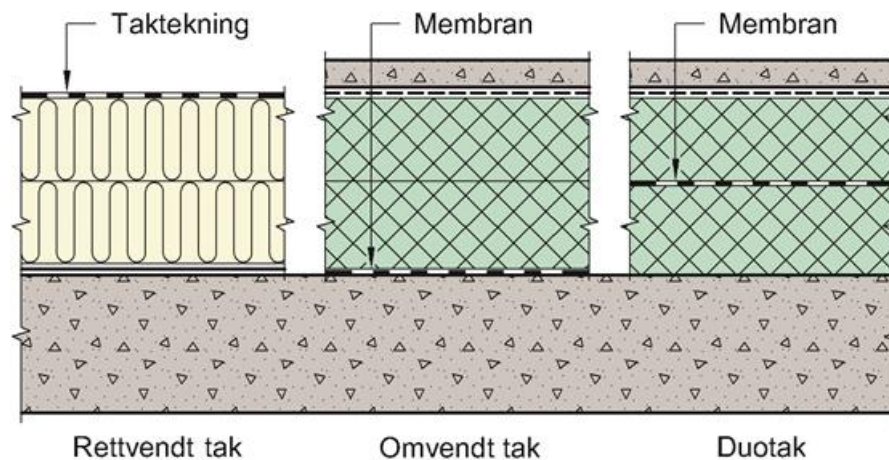
Figur 1: Illustrasjon av kompakte tak. Hentet fra: TEKK. [4]



Figur 2: ZEB-laboratoriet i Trondheim. Hentet fra: Byggeindustrien. [5]

2.1. Hovedtyper

Kompakte tak har en takkonstruksjon som er oppbygd av materialsjikt plassert tett inntil hverandre. Kompakte tak har ikke luftesjikt mellom isolasjonen og taktekning, dermed er det nødvendig å benytte materialer som tåler en viss grad av fukt uten at det skader konstruksjonen. En typisk oppbygning av kompakte tak har bærekonstruksjon av betong, treverk eller korrugerte plater av stål. Over bærekonstruksjonen benyttes ulike varianter av dampsperre, isolasjon og taktekning avhengig av hvilken type kompakttak som benyttes [3]. Hovedvariantene av kompakte tak er rettvendte tak, omvendte tak og duotak [6]. De ulike variantene har ulike egenskaper og fordeler hvor trafikkbelastning og bruksområde er førende for hvilke tak som benyttes på ulike prosjekt.



Figur 3: Varianter av kompakte tak. Hentet fra: Byggforskserien 525.207 Kompakte tak. [6]

2.1.1. Rettvendte tak

Rettvendte tak er mest utbredt og innebærer at det plasseres en dampsperre over bærekonstruksjonen, før et eller flere lag med isolasjon monteres. Over isolasjonen kan det eventuelt benyttes en migreringssperre, før taktekningen monteres. Rettvendte tak er godt egnet der trafikkbelastningen er begrenset til vedlikehold og tilsyn, og over rom med høy fuktbelastning med bærekonstruksjon av betong [6].

2.1.2. Omvendte tak

Omvendte tak er oppbygd med membranen/taktekningen over bærekonstruksjonen. Over membranen plasseres isolasjon med lavt fuktopptak som tåler den mekaniske belastningen som konstruksjonen skal utsettes for. XPS, ekstrudert polystyren, er en trykkfast isolasjon som er godt egnet for omvendte tak. Over isolasjonen monteres et separasjonssjikt og slitelag. Materialet som benyttes som slitelag vurderes ut fra trafikkbelastning og generell bruk av takområdet. Omvendte tak benyttes på prosjekter med høyere grad av trafikk på takarealet, siden oppbygningen tåler relativt stor mekanisk belastning. Dette inkluderer parkeringsdekker for biler og terrasser for all type trafikk [6].

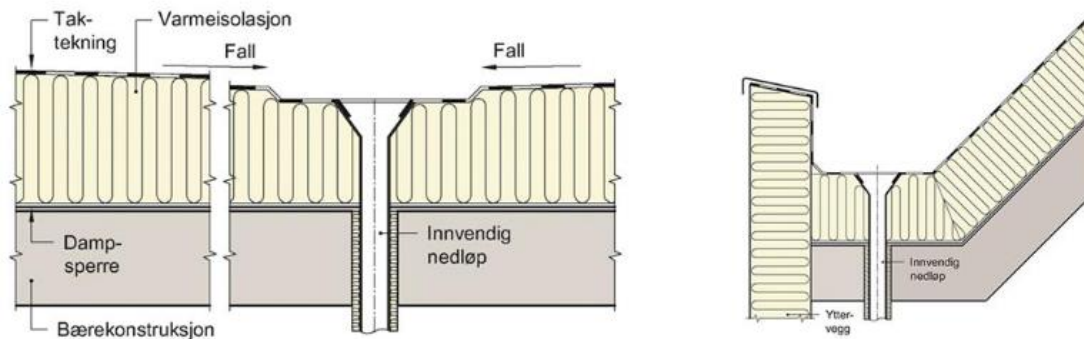
2.1.3. Duotak

Duotak er oppbygd på samme måte som omvendt tak, bortsett fra at membranen plasseres i midten av to isolasjonslag istedenfor mellom bærekonstruksjon og isolasjon. Denne taktypen er godt egnet for rehabiliteringsprosjekter, siden membran kan legges over gammel isolasjon før ny isolasjon monteres ved etterisolering. Duotak er godt egnet for terrasser med lett til moderat trafikk [6]. Eksempler på de ulike løsningene er fremstilt i Figur 3.

2.2. Prinsipiell oppbygging

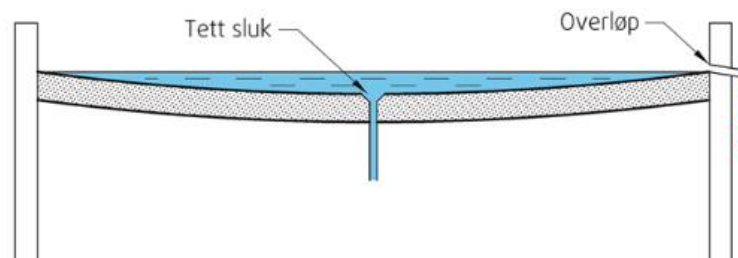
2.2.1. Fallforhold og avrenning

I kompakte tak der det er oppvarmede rom i etasjen under kan varmegjennomgangen fra innsiden av bygget smelte snø på taket. Smeltevannet må ledes bort fra taket på en forsvarlig måte, og nedløpet må ha høy nok temperatur slik at vannet ikke fryser. Derfor brukes det som oftest innvendige nedløp på kompakte tak som er plassert i en lokal forsenkning, se Figur 4. For å få god avrenning kreves det fall på minimum 1:40 på takflaten. Nedbøying på grunn av egenvekt og belastning må ikke gi mindre fall enn verdiene som er angitt.



Figur 4: Detalj på innvendig nedløp. Hentet fra: Byggforsk Takkonstruksjoner. [7]

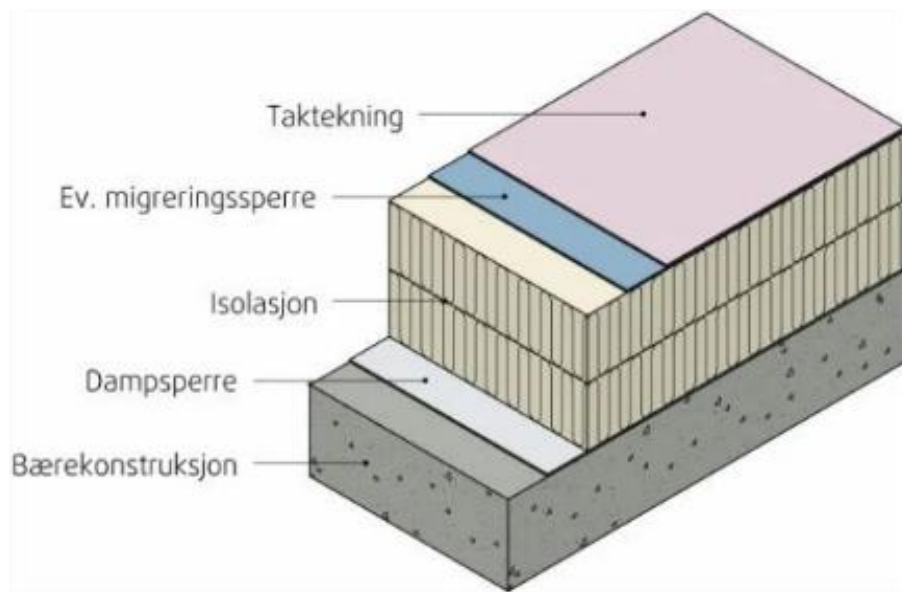
Renner og kilrenner må ha fall på minimum 1:60. Sluk skal legges i lavpunktene, men skal unngås ved siden av bjelker og søyler. Overløp er viktig dersom slukene blir tette, og skal plasseres slik at maksvekt av vannet som demmes opp ikke er høyere enn dimensjonerende snølast, se Figur 5 [3].



Figur 5: Illustrasjon av tett sluk og montert overløp. Hentet fra: Byggforskserien 725.118 Skader i kompakte tak. [8]

2.2.2. Underlag og dampsperre

Ved bruk av prefabrikkerte elementer av betong som bærekonstruksjon må sprang jevnes ut. Plastøpte betongdekker må være avrettet og overflaten må være ren og tørr [6]. Rettvendte tak må ha en dampsperre over bærekonstruksjonen for å hindre fukttransport og luftlekkasjer, se Figur 6 for illustrasjon over hvor dampsperreren plasseres i et rettventdt tak. Samlet vanddampmotstand på varm side av isolasjonen bør være ti ganger større enn samlet dampmotstand på kald side. Dampsperre velges ut fra innvendig luftfuktighet og temperatur, lufttrykk under taket samt type bæresystem og uteklime. På omvendte tak fungerer tekningen som dampsperre. Skjøter og gjennomføringer er avgjørende for lufttettheten og dampsperre kommer derfor i store bredder. Omleggsskjøter må klemmes, limes og teipes. Det finnes også en smart dampsperretype som har en uttørkingsmulighet. Denne typen dampsperre egner seg spesielt godt i flate kompakte tak fordi den fungerer som dampsperre i tørr tilstand, men slipper gjennom fukt i fuktig tilstand [9].



Figur 6: Prinsipiell oppbygging av kompakte tak. Hentet fra: SINTEF. [10]

2.2.3. Varmeisolasjon

Riktig isolering av kompakte tak bidrar til å unngå varmetap og fuktproblemer samtidig som det opprettholder riktig lastfunksjon. Dette underkapittelet beskriver fire ulike isolasjonstyper som ofte er brukt i kompakte tak.

Mineralull

Mineralull er et ubrennbart fibermateriale som produseres fra smeltet stein (steinull) eller glass (glassull). Produksjonsprosessen innebærer smelting av råmaterialet som deretter blir formet til fibre. Disse fibre tilsettes et bindemiddel og presses til matter eller plater, avhengig av ønsket densitet og stivhet for ulike bruksområder. Mineralull er det mest brukte varmeisolasjonsmaterialet og er effektiv både som hulromsfyll i form av lette, elastiske matter eller granulater for innblåsing, og i massive konstruksjoner med tyngre, stive plater. Materialets lave termiske konduktivitet gjør det svært effektivt for varmeisolasjon. I tillegg til å isolere mot varme, benyttes mineralull til lydabsorpsjon og som dreneringsmateriale ved kjellervegger [11].



Figur 7: Illustrasjon som viser en plate av mineralull, steinull. Hentet fra: Sundolitt. [12]

EPS-isolasjon

EPS (ekspandert polystyren), er et isolasjonsmateriale kjent for sin bruk i blant annet isopor. EPS består av små kuler, hvor hver kubikkmeter inneholder omtrent 10 millioner slike kuler, hver fylt med ca. 3000 lukkede celler inneholdende luft. Denne strukturen gjør EPS til et utmerket isolasjonsmateriale da stillestående luft har svært lav varmeledningsevne. EPS har lav vekt, er prisgunstig og enkel å bearbeide samtidig som den har god isolasjonsevne i fuktig miljø. Materialet kan lett gjenvinnes, ettersom det består av ett enkelt materiale. EPS brukes i mange sammenhenger, fra måltilpassede plater for flate tak til formpressede plater og løse kuler for etterisolering [13].



Figur 8: Illustrasjon som viser en plate med EPS isolasjon. Hentet fra: Sundolitt. [14]

XPS-isolasjon

XPS (ekstrudert polystyren) er tilgjengelig som flate isolasjonsplater med en lukket cellestruktur som gir flere fordeler. XPS-plater er svært fukttette, som gjør dem egnet for bruk i omvendte tak og under bakken. De har også høy trykkfasthet, som gjør dem passende for isolering av områder med stor belastning, som parkeringsplasser. XPS er bestandig mot mugg og mikroorganismer, har lav vekt, og er enkel å bearbeide uten hudirritasjon. Dessuten er XPS hundre prosent gjenvinnbart. Sammenlignet med EPS, tilbyr XPS høyere trykkfasthet og bedre motstand mot dampgjennomtrengning. Dette gjør XPS mer egnet for isolering i fuktige områder som gulv, kjellere og grunnmurer, hvor dens motstandsdyktighet mot fukt og vanndamp er spesielt verdifull [13].



Figur 9: Illustrasjon som viser en plate med XPS isolasjon. Hentet fra: Byggoutlet. [15]

PIR-Isolasjon

PIR, eller polyisocyanurat, er et avansert isolasjonsmateriale med en svært lav termisk konduktivitet noe som gjør det til et av de mest effektive varmeisolasjonsmaterialene. PIR er en stivere og mer termisk effektiv type skumplast enn tradisjonell polyuretanskum (PUR), produsert ved reaksjon mellom polyol og isocyanurat.

Materialet har flere fordeler:

- Lav termisk konduktivitet, som reduserer nødvendig tykkelse
- Bedre brannmotstand sammenlignet med andre skumbaserte isolasjonsmaterialer
- Lav vekt, som gjør det enkelt å håndtere og installere
- Høy motstand mot fuktighet, som sikrer vedvarende isolasjonseffektivitet
- Dimensjonal stabilitet, som forhindrer krymping eller deformasjon

PIR brukes i ulike bygningsdeler, inkludert tak, vegger, gulv og industribygg, hvor dets holdbarhet og brannmotstand er spesielt verdifulle. Dessuten har PIR miljømessige fordeler, som energieffektiv produksjon og gjenvinnbarhet, og bidrar til redusert energiforbruk og karbonutslipp i bygninger, noe som fremmer bærekraftige byggemetoder [16].



Figur 10: Illustrasjon over en plate med PIR isolasjon. Hentet fra: Finnfoam. [17].

Tabell 1 er en oversikt over egenskapene til fire isolasjonstyper som kan brukes i kompakte takkonstruksjoner. Merk at data i tabellen kan variere fra merkevarer til typer.

Tabell 1: Egenskaper til fire isolasjonstyper

Egenskaper	Mineralull	EPS	XPS	PIR
Ubrennbar/brennbar Brannklasse (EN)	Ubrennbar A2-s1,d0	Brennbar F	Brennbar F	Ubrennbar B-s2,d0 (E)
Fuktbestandighet	Lav	Medium	Høy	Høy
Trykkfasthet Langtidslast Korttidslast	Lav - 5 kN/m ²	Medium 24 kN/m ² 80 kN/m ²	Høy 140 kN/m ² 300 kN/m ²	Høy - -
Termisk konduktivitet λ_D [W/(mK)]	0,032 – 0,043	0,031 – 0,041	0,027 – 0,039	0,021-0,027
Miljødeklarasjon, EPD LCA (A1 – C4) [kg CO ₂ .eqv]	NEPD-4120-3334 3,04E+00 [18]	NEPD-2879-1573-EN 5,57E+00 [19]	RTS_113_21 4,4E+00 [20]	RTS_140_21 5,96E+00 [21]

Det er innhentet data fra kommersielle produkter av de fire isolasjonstypene i tabellen. Data i tabellen er fra følgende isolasjonstyper:

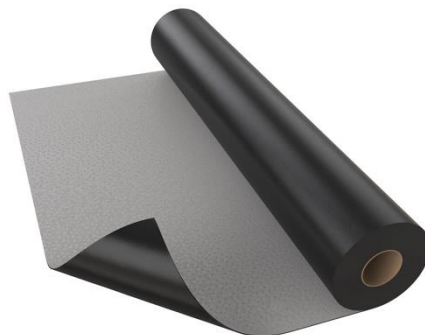
- **Mineralull:** RockWool - Hardrock Energy 100_[22]
- **EPS, ekspandert polystyren:** Glava - EPS S80 100_[23]
- **XPS, ekstrudert polystyren:** Vartdal Plast - XPS L-fals 100_[24]
- **PIR, polyisocyanurat:** termPir® - PIR takisolasjon 100 [25]

2.2.4. Taktekning og beslag

Hovedoppgaven til taktekningen er å beskytte konstruksjonen mot klimapåkjenninger, og ved riktig bruk og utførelse medvirker tekningen til at bygget tilfredsstillende de grunnleggende funksjonskravene. To typer taktekning som ofte brukes i kompakte tak er membran av asfalt og PVC (polyvinylklorid). Asfaltmembran finnes både som ett-lags og to-lags. To-lags er best for sikkerhet mot lekkasjer og ved bruk av ett-lagsbelegg stilles det strengere krav til kvalitetssikring. Se Figur 11 for produkt eksempel. PVC takmembran består av plast eller gummi som også brukes som vanntettende sjikt i torvtak, flate tak med beplantning og terrasser. Se Figur 12 for produkt eksempel. Valg av takmembran avhenger av bruksområde, men det lønner seg å velge et produkt med god punkteringsmotstand og tilstrekkelig tykkelse til tak med ballast. Alle produktene som brukes i taktekningen må ha SINTEF Teknisk Godkjenning eller lignende dokumentasjon [26].



Figur 11: Asfaltmembran, rullprodukt. Hentet fra: Mataki. [27]



Figur 12: PVC takmembran, rullprodukt. Hentet fra: Protan. [28]

2.3. Fordeler

Kompakte takløsninger er en rasjonell og utbredt måte å lukke bygninger på. Kompakte tak har en tett konstruksjon og kan enkelt oppfylle kravene til lufttetthet og energieffektivitet. Dette kan resultere i lavere oppvarmings- og kjølingskostnader. For passivhus og nullenergibygninger med høye energikrav vil kompakte tak være det beste alternativet [2]. Det er heller ingen store begrensninger for utformingen på grunn av krav til ventilasjon eller fuktdrenerende dampsperre. Dampsperran er enkel å montere og risikoen for fuktskader er lav ettersom fuktighet stiger. Bærende konstruksjoner er isolert og har minimale temperatursvingninger. Kompakte tak har lang levetid, motstår tøffe værforhold og er godt egnet for nordisk klima [29]. Taktypen gir god sikkerhet mot brannspredning [3].

2.4. utfordringer

Dette delkapittelet beskriver typiske utfordringer og skader i kompakte tak og viser hvorfor skader oppstår og hvordan de kan utbedres både i prosjekterings-, utførelses-, drifts- og vedlikeholdsfasen. Skader oppstår først og fremst i forbindelse med direkte kontakt med vann i rennepartier, overganger til andre taktyper og ulike gjennomføringer, og i form av skader i tekningen. Et kompakt tak med riktig oppbygging og utførelse får sjelden skader.

2.4.1. Prosjekteringsfase

Oppsamling av vann på taket medfører økt fuktpåkjenning for konstruksjonen og dermed økt risiko for fuktproblematikk. Ved bruk av flate kompakte tak på store bygg bør det i prosjekteringen medregnes aktuell nedbøyning på takflaten, for å sikre at tilstrekkelig fall for avrenning blir opprettholdt [3]. Slukantall og plasseringer av sluk må planlegges riktig for å få raskest mulig avrenning fra taket og slik at det er kapasitet til å håndtere de mengder av vann og nedbør som taket utsettes for. En takplan er derfor viktig i prosjekteringsfasen for å ha oversikt over takets fall, renner og sluk.

Ved feil oppbygging og materialvalg kan det oppstå isdannelser og issprengning på raft, renner og nedløp. Dette kan bety at vannet demmes opp i områder samt sørge for utilstrekkelig avrenning. Vannet fører til skader i form av vannlekkasje inn i bygningen. Utvendige nedløp er lite egnet for kompakte tak fordi de ikke er isolerte og dermed ikke opprettholder riktig temperatur hele året.

Det er viktig med god detaljeringsgrad slik at krevende detaljer ikke blir overlatt til tilfeldigheter under utførelsesfasen. Parapet og sargvegg på kompakte tak er utsatte områder for fuktskader ved mangelfull tekning og beslagsarbeider. Ifølge SINTEF skal tekningen «være ført helt opp på og over parapeten.» [8]. Gjennomføringer og oppbygninger som er plassert i nærheten av hverandre eller andre konstruksjonsdeler kan vanskeliggjøre tekningsarbeidet rundt. For å unngå komplikasjoner med utførelsen av taktekningen bør gjennomføringer og kompliserte former på taket prosjekteres slik at det blir lett for taktekker å utføre en sikker og vanntett tekning.

2.4.2. Utførelsesfase

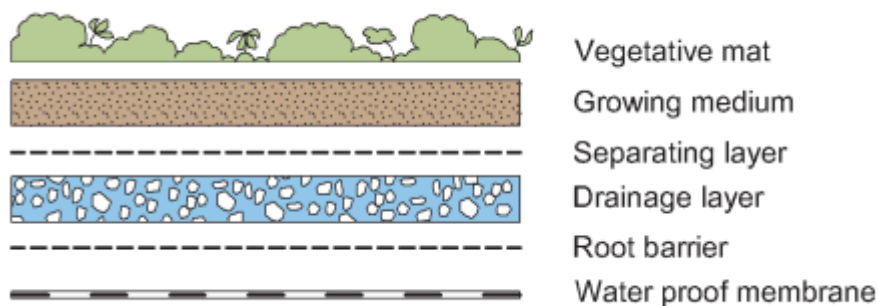
Kompakte tak krever høyere kostnader på grunn av spesielle teknikker og materialer. Det kan være utfordrende å finne kvalifiserte entreprenører som har spesialisert arbeidskraft og erfaring [2]. Selv om fall er riktig prosjektert er det viktig at fall kontrolleres i henhold til fallplan underveis i utførelsesfasen. Mekaniske påkjenninger som oppstår under utførelsesfasen, kan påføre hull i tekningen. Dette kan være små og skarpe gjenstander som for eksempel skruer som trampes på. For å unngå perforering av taktekningen må takbelegget tildekkes og beskyttes godt ved videre arbeid. Ukorrekt innfesting av tekniske installasjoner på taket er også en risikofaktor for at takbelegget punkteres uten at det blir oppdaget. Små hull i tekningen er ofte utfordrende å oppdage og kan føre til at små mengder vann trenger inn i bygningen over lengre tid. Vann som blir liggende over lengre tid inne i konstruksjonen danner råte- og fuktskader i tillegg til kondensering som sprer seg til andre deler av konstruksjonen. Skjøter og gjennomføringer må utføres med nøyaktighet og kontrolleres underveis.

2.4.3. Drift- og vedlikeholdsfase

Andre typiske årsaker til vannlekkasjer eller fuktskader kan skyldes tette nedløp på grunn av oppsamling av avfall fra omgivelsene rundt, særlig løv fra nærliggende trær. Vannet får ikke riktig avrenning og vil dermed demmes opp rundt sluk. Dette kan videre føre til at vann blir stående over takoppbrettene over tid og danne en svakhet i overgangene mot vegger, skjøter eller mot andre takkonstruksjoner [8]. For å unngå tette nedløp bør det planlegges jevnlig gjennomgang og vedlikehold av sluker og renner.

3.0. Blågrønne tak

Blågrønne tak kan defineres som en type grønne tak som tar i bruk levende planter og underlaget de vokser i, for forbedret overvannshåndtering [30]. Blågrønne tak er spesielt nyttig for håndtering av ekstremnedbør [31]. Forskjellen mellom grønne tak og blågrønne tak kan forstås som at grønne tak er blågrønne tak dersom de utformes som elementer i et system for overvannshåndtering [32]. Figur 13 viser typisk oppbygging av et blågrønt tak. Siden klimaendringer medfører mer nedbør er løsningen et relevant alternativ for fremtidens bygninger. Dette kapittelet presenterer ulike varianter, risikomomenter, fordeler og utfordringer med blågrønne tak.



Figur 13: Oppbygging av blågrønne tak. Hentet fra: *Adapting Green-Blue Roofs to Nordic Climate*. [33]

Blågrønne tak fungerer gjennom både detensjon ved at avrenningen forsinkes idet vann renner gjennom porøse materialer og retensjon på grunn av evapotranspirasjon [34]. Blågrønne tak har større lagringskapasitet under vekstmediet, men benytter ellers de samme virkemidlene som grønne tak [35]. Selv om det ikke er en tydelig og felles anerkjent terminologi for denne typen taksystemer [32], er det i denne oppgaven valgt å benytte begrepet blågrønne tak.

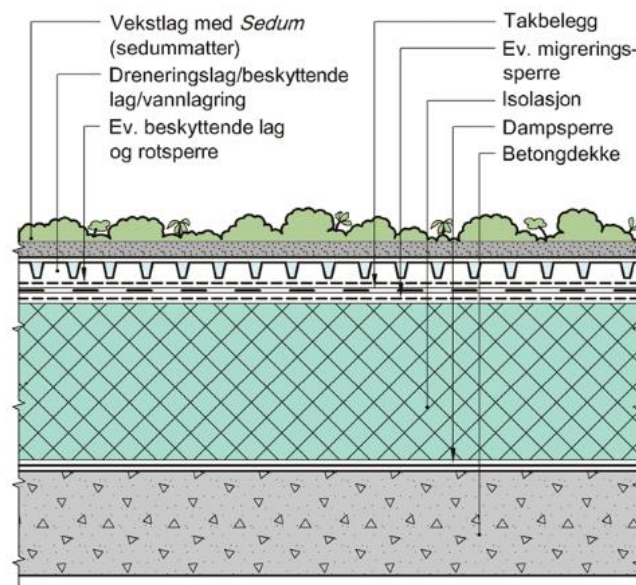
Økt urbanisering medfører reduksjon av naturlig terreng som kan infiltrere overvann. I artikkelen *Grønne tak for flomdemping* forklares det hvordan man ved å benytte blågrønne løsninger med infiltrerende materialer i takkonstruksjonen kan redusere avrenningen ved at regnvann infiltreres og fordrøyes. På denne måten fungerer takets oppbygging som et flomdempende tiltak for området som bygget befinner seg i [36].

Norsk klimaservicesenter anslår at klimaendringer vil medføre mer nedbør og økt sannsynlighet for ekstremnedbør og regnflom i Norge frem mot år 2100. Deres prognoser innebærer en økning i årsnedbør på omtrent 18 prosent, samtidig som styrtregn og regnflom vil forekomme oftere og med større intensitet [37]. Viktigheten av å tilpasse fremtidige bygninger til klimaendringene reflekteres i regelverket. Direktoratet for byggkvalitet angir i TEK17 krav til utvendige avløpsnett. Der beskrives det at dimensjonering av overvannssystemer med avledning, fordrøyning og infiltrasjon som hovedregel skal baseres på nedbør med 100-års intervall for gjentakelse, med klimajustering [38]. Dette viser at klimaendringer bør tas hensyn til i fremtidens overvannshåndtering.

Korrekt byggteknisk oppbygning av blågrønne takkonstruksjoner er sentralt for å tilfredsstille krav til levetid og funksjon. Ved hjelp av anvisninger i byggforskserien kan man få oversikt over viktige elementer for å sikre en konstruksjon av god kvalitet. I anvisningen *544.823 Sedumtak* beskrives blant annet hvordan egnet konstruksjon kan oppbygges, hvilke planter og vekstmedium som kan benyttes, tiltak mot sentrale risikomomenter og anbefalinger for vedlikehold [39]. Tilsvarende kan *525.306 Terrasser med beplantning på bærende betongdekker* brukes for mer intensive takformer [40]. Ved å basere prosjektering og utførelse på disse anbefalingene, teknisk informasjon om valgte produkter og gjeldende lovverk reduseres risikoen for byggefeil.

3.1. Hovedtyper

Grønne tak kan inndeles i hovedtyper, avhengig av vekstmassenes oppbygning og hvor krevende løsningene er med tanke på vedlikehold [41]. Hovedtypene av blågrønne tak er ekstensive grønne tak, intensive grønne tak, semi-intensive grønne tak og blågrå tak. Dette delkapittelet beskriver de ulike typene og viser prinsipiell oppbygging. En typisk oppbygning av sedumtak på et flatt kompakt tak med bærekonstruksjon av betong er vist i Figur 14.



Figur 14: Oppbygning av sedumtak. Hentet fra: Byggforskserien 544.823 Sedumtak. [39]

3.1.1. Ekstensive grønne tak

Ekstensive grønne tak består av et tynt lag med vekstmedium, med mindre planter som utgjør den ytterste delen av taket [32]. Denne typen er mye brukt på grunn av lave kostnader og lav vekt. Ekstensive grønne tak bygges ofte opp med sedumplanter, også kalt bergknapp, som tåler krevende vekstvilkår med lite vann og næring [41]. Det benyttes vekstmedier med relativt liten dybde, beskrevet i Figur 15. Vegetasjonen kan bestå av blant annet gress, urter og moser [42]. En fordel ved bruk av ekstensive tak er at vedlikeholdsbehovet er begrenset [36].



Figur 15: Oppbygning av ekstensive tak med sedum. Til venstre: Variant med filtduk tilpasset skrå tak. Til høyre: Variant for flate tak med drenselement. Hentet fra: Norges vassdrags- og energidirektorat. [43]

3.1.2. Intensive grønne tak

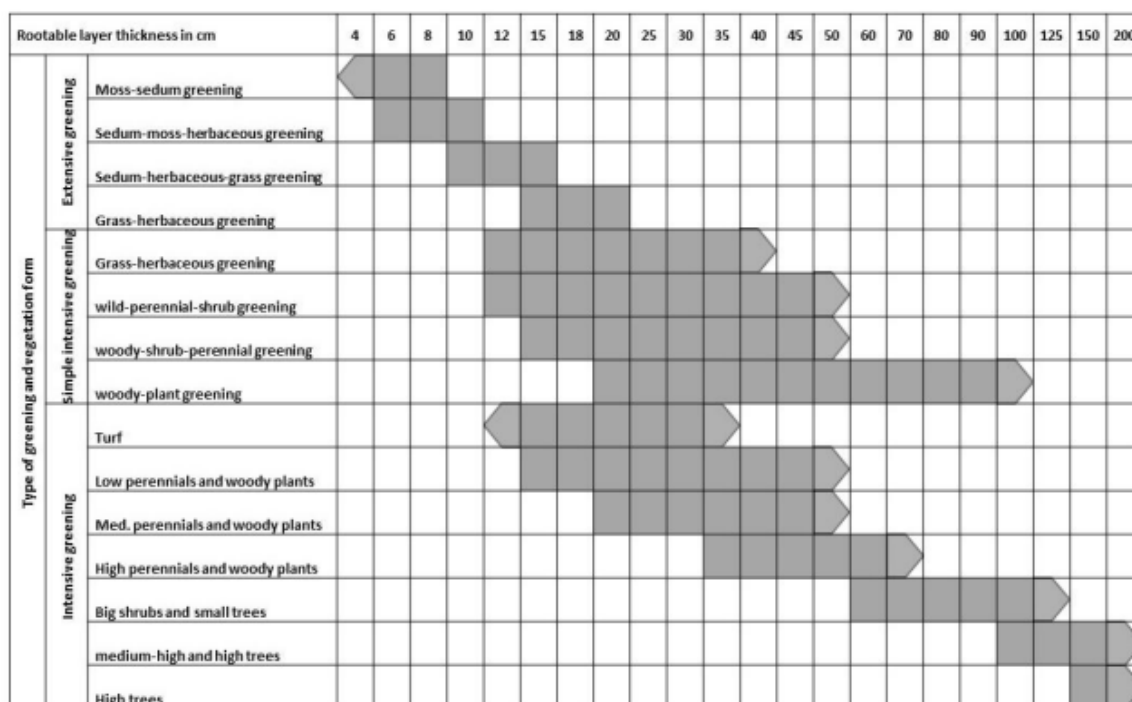
Intensive grønne tak kan baseres på mange ulike arter og er i utgangspunktet vedlikeholdskrevende. For at denne typen grønne tak skal fungere er det nødvendig med jevn tilførsel av næring og vann til plantene. Intensive tak er vanskelig å ettermontere på eksisterende bygg, og bruksområdet er derfor nye bygg der konstruksjonen er dimensjonert for vekten og egnet for den tiltenkte bruken av takhagen [36]. Intensive grønne tak kan blant annet inkludere busker, trær og plen [42]. Anbefalte tykkelser for vekstunderlag avhengig av type vegetasjon er vist i Figur 16.

3.1.3. Semi-intensive grønne tak

Semi-intensive grønne tak er en variant som har mer begrensede bruksområder og utformingsmuligheter enn intensive grønne tak. Samtidig innebærer denne typen mer artsmangfold enn ekstensive tak, og et eksempel på semi-intensive tak er torvtak [36]. Vegetasjonen som benyttes har lavere krav til vann- og næringstilførsel enn intensive tak, samtidig som kostnadene for å bygge taket er lavere og vedlikeholdsbehovet er mindre [42]. Anbefalte tykkelser på vekstmedium for vegetasjon som er egnet for semi-intensive grønne tak er illustrert i Figur 16.

3.1.4. Blågrå tak

Blågrå tak er en takform med lignende oppbygning som blågrønne tak, men uten bruk av vegetasjon [44]. Ved bruk av denne varianten brukes steinmaterialer som for eksempel belegningsstein som øverste dekke, med lettklinker, eller lignende, som drenerende lag nedenfor. Bruk av mer hardføre materialer medfører at taket tåler større grad av trafikk. Ettersom blågrå tak gir tilsvarende fordrøyningskapasitet som blågrønne tak, men er mer robuste mot klimavariasjoner, er det et relevant alternativ for arealer der både trafikk og overvannshåndtering skal prioriteres [45].



Figur 16: Tykkelser for vekstunderlag. Hentet fra: Landscape Development and Landscaping Research Society. [42]

3.2. Risikomomenter blågrønne tak

Det er flere risikomomenter tilknyttet blågrønne takkonstruksjoner. Denne typen tak medfører potensiale for kostbare skader, noe det er ulike årsaker til.

Mange ulike fag deltar i arbeidet med blågrønne tak. Figur 17 er hentet fra *Risikorammeverk for blågrønne tak* og viser aktører som typisk er en del av prosessen [30]. Risikorammeverket angir flere utfordringer med tanke på organisering: Siden prosjektene er basert på mange fagdisipliner er det fare for at utførende og prosjekterende fagpersoner ikke har tilstrekkelig kunnskap om de forskjellige fagområdene, samtidig som motstridende vurderinger mellom fagene kan medføre skader. Det er også en typisk strategisk utfordring at bygningens bærende konstruksjon prosjekteres før det blir avgjort om det skal benyttes et blågrønt tak [46]. Dette kan føre til både økte kostnader og risiko for feil, siden den prosjekterte konstruksjonen ikke nødvendigvis er egnet for et blågrønt tak.

Før bygging (konsept/planlegging/ prosjektering)	Byggefase (utførelse)	Etter bygging (drift/vedlikehold)
<ul style="list-style-type: none">• Arkitekt• Rådgiver bygningsfysikk• Rådgiver hydrologi• Rådgiver konstruksjon• Rådgiver brann• Rådgiver VVS• Rådgiver elektro/installasjon• Landskapsarkitekt• Miljø-/livssyklusanalyse• Lovmessige begrensninger/krav	<ul style="list-style-type: none">• Tømrer• Taktekker• Betongstøper• Rørlegger• Gartner• Elektromontør• Montør VVS• Blikkenslager• Montør av teknisk utstyr på taket (telekom, belysning, lysreklame, solceller osv.)• Montering av ikke-teknisk utstyr på taket (terrassegulv, rekkverk, skilt, adkomstdører, trapper, takvinduer, osv.)	<ul style="list-style-type: none">• Gartner• Brukere/besøkende• Drift/vedlikeholds-personell• Snømåking• Vedlikehold VVS-utstyr• Drift av telekom• Drift av skilt, reklame• Vedlikehold solceller• Ev. værmåling

Figur 17: Involverte fagdisipliner for blågrønne tak. Hentet fra: *Risikorammeverk for blågrønne tak*. [30]

3.2.1. Inspeksjon av fuktsikring

Oppbygningen av blågrønne tak innebærer at taktekningen ligger tildekt og lite tilgjengelig for tilstandsundersøkelser. Derfor vil det være utfordrende å oppdage eventuelle byggefeil. Til sammenligning kan man ved konvensjonelle kompakte tak undersøke taktekningens tetthet uten vesentlige hindringer. Oppbygningen av blågrønne tak, med flere vanntette sjikt, medfører at vann kan oppsamles mellom lagene i konstruksjonen over lengre tid før problemet oppdages [30]. Dermed øker risikoen for at vannskader krever omfattende rehabiliteringsarbeid. På bakgrunn av dette er det essensielt å sørge for at taktekningen er uten byggefeil som kan medføre vanninntrengning, siden disse kan føre til et mer alvorlig utfall enn for tilsvarende feil ved tradisjonelle kompakte tak [32].

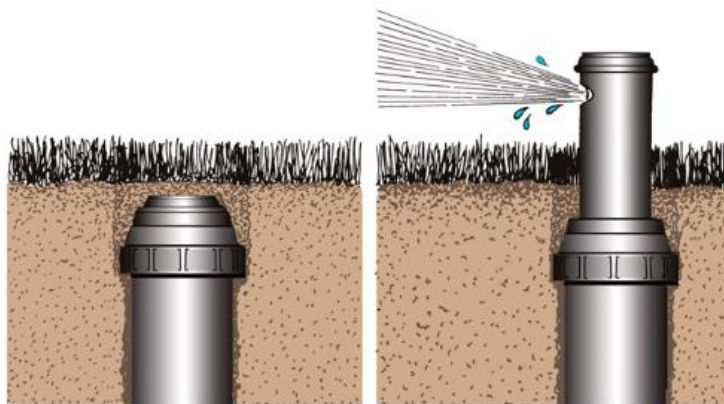
3.2.2. Overvannshåndtering

Ved bruk av blågrønne tak er det viktig med hensiktsmessig drenering. For at taket skal fungere som en del av overvannshåndteringen er det nødvendig at infiltrasjonslagene dreneres i perioder med mindre nedbør [30], slik at taket opprettholder tilstrekkelig fordrøyningskapasitet. Det er flere momenter som bør vurderes. For å unngå at finstoff fra vekstmediet skal falle ned i drengsmaterialet bør det benyttes et separasjonssjikt i form av for eksempel en fiberduk av polypropylen [40]. Det er i tillegg hensiktsmessig å montere filtrerende materiale rundt tilsynskum, slik at mengden små jordpartikler som vaskes ut fra vekstmaterialet reduseres. På denne måten forhindres avleiring i dreneringsrør [39]. Mangel på drenering har flere konsekvenser, både i form av redusert hydrologisk funksjon, risiko for skader og påvirkning på botanisk trivsel. Aktuelle tiltak for å sikre tilstrekkelig drenering inkluderer måling av dreneringen, kontroll av fall og dreneringsrenner samt tilsyn av sluk før større nedbørsmengder [30]. For å kunne gjennomføre inspeksjoner og vedlikehold bør takarealet tilrettelegges for enkel adkomst for fagpersonell [40].

3.2.3. Botaniske forhold

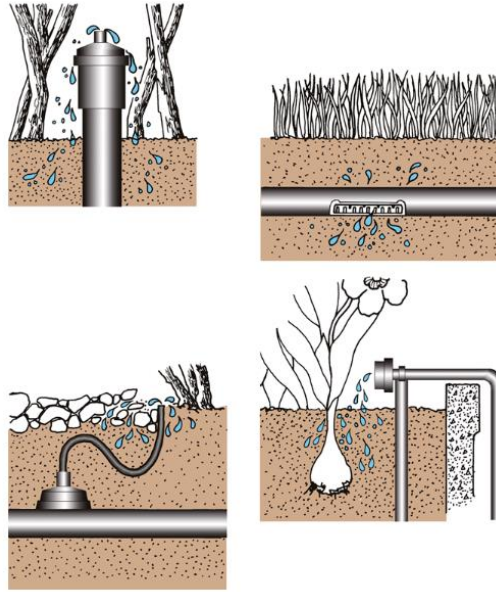
Det er nødvendig å ivareta gode botaniske forhold for vegetasjonen som vokser på blågrønne tak. Ved bruk av planter fra bergknappfamilien på ekstensive tak kan manglende drenering medføre problemer med stor utgang [41]. Tilsvarende har andre vegetasjonstyper som busker og trær behov for nok, men ikke for mye, vann i vekstmediet. Dersom plantene vokser i jord med for mye vann kan de få tilgang til mindre oksygen, rothår kan skades og røttenes evne til å transportere vann til planten reduseres [47]. Hvis disse problemene vedvarer over tid, kan vegetasjonen dø.

Det bør også unngås at plantene tar skade av tørke. For å forhindre tørkeproblematikk er det aktuelt å integrere vanningsystemer på taket. Byggforskseriens anvisning *Terrasser med beplantning på bærende betongdekker* anbefaler å benytte permanent vanningsystem for store tak i innlandsområder. Vanningsanlegg kan både bestå av nedgravde spredere og dryppvanning, illustrert i Figur 18 og Figur 19. For å unngå at frost sprenger vanningsrørene, bør systemene tømmes for vann før vinteren [40].



Figur 18: Eksempel på nedgravd vanningsanlegg.

Hentet fra: Byggforskserien 525.306 Terrasser med beplantning på bærende betongdekker. [40]



Figur 19: Eksempler på anlegg med dryppvanning.

Hentet fra: Byggeforskerien 525.306 Terrasser med beplantning på bærende betongdekker. [40]

Ved blågrønne tak kan røtter potensielt skade den underliggende konstruksjonen. Dersom røtter skader takmembranen er det fare for at vann trenger inn i konstruksjonen, noe som kan medføre kostbare fuktskader. For å unngå dette kan man bruke takbelegg som har tilstrekkelig mekanisk slitestyrke til å tåle påkjenningen av røttene, eller installere en membran som fungerer som rotsperre. Testing av rotsperrens motstand mot gjennomtrenging av røtter er basert på enkelte plantetyper, og det er derfor risiko for at materialenes tålegrenser er lavere enn forventet ved bruk av andre former for vegetasjon [32]. Dersom korrekt håndtering av utfordringer på grunn av røtter gjennomføres, reduseres risikoen for skader.

En annen utfordring ved blågrønne tak er avblåsing. Ved bruk av lette sedumtak kan avblåsing forekomme, spesielt i hjørne- og randsoner av taket siden vindsuget er størst i disse områdene. Denne utfordringen er hovedsakelig aktuell i områder med mye vind [48]. Siden bruk av singel eller andre ikke-brennbare materialer i ytterkant av tak også er et aktuelt branntiltak, samtidig som det reduserer fuktbelastningen mot parapet, er det naturlig å samordne disse utfordringene ved prosjektering.

3.2.4. Brann

Det er flere virkemidler som kan tas i bruk for å redusere risikoen for brann ved blågrønne tak. Det er strategisk å anlegge ikke-brennbare materialer, for eksempel singel, i områder inntil dreneringssluk [39]. Dette er illustrert i Figur 20. For å redusere brannfaren i forbindelse med strålevarme og flyvende gnister bør vegetasjonsdekket være minimum 30 mm tykt og bestå av maks 20 vektprosent organiske materialer, mens brannvegger plasseres med avstand inntil 40 meter [42]. Siden døde planter og løv er lettantennelige i tørr tilstand, bør de fjernes. Ved å bruke grus eller singel som dekke langs enden av taket reduseres sannsynligheten for at brann skal spre seg fra takflaten [32]. Ved å følge angitte retningslinjer kan blågrønne tak oppnå en tilstrekkelig brannmotstand.



Figur 20: Inspeksjonskum ved sluk på sedumtak. Hentet fra: Byggforskserien 544.823 Sedumtak. [39]

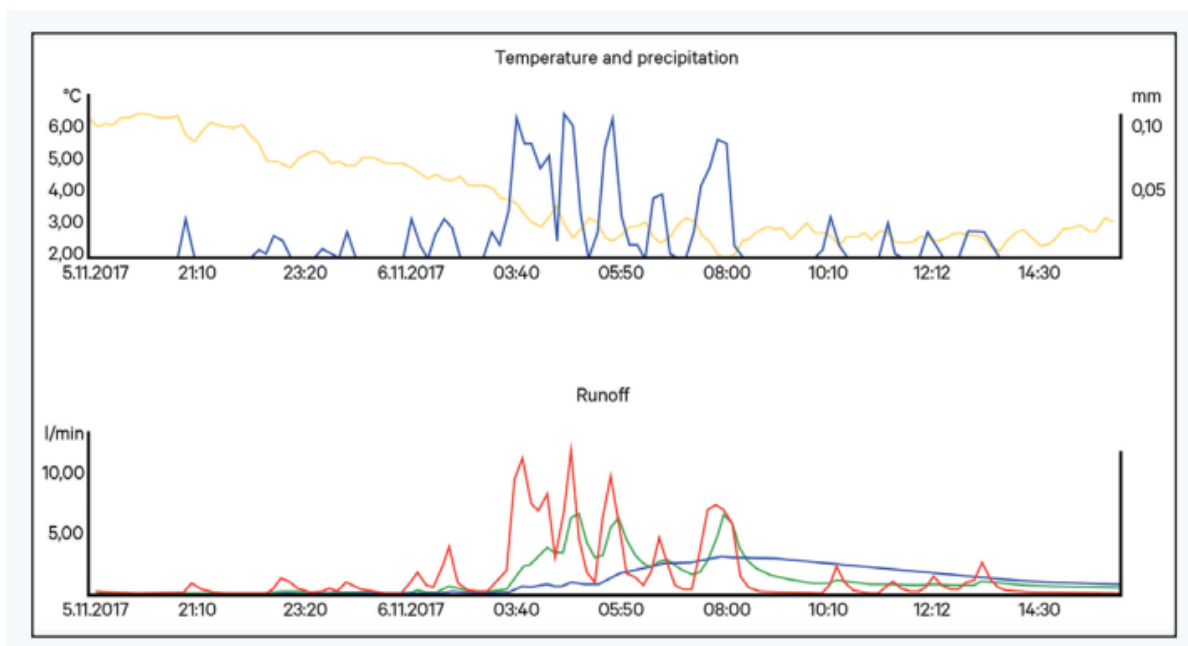
3.3. Fordeler og utfordringer med blågrønne tak

Blågrønne tak har flere fordeler som er relevante for fremtidens bygg. Samtidig er det nødvendig å vurdere ulempene ved takvarianten for å kunne implementere blågrønne tak i prosjekter på en vellykket måte.

3.3.1. Overvannshåndtering

De hydrologiske egenskapene til blågrønne tak kan være et vesentlig bidrag til forbedret overvannshåndtering. Klima 2050 har forsket på grønne og blågrå taks egenskaper ved å sammenligne taktyper. Forsøk viste at den grønne takflaten oppnådde 24 % årlig gjennomsnittlig retensjon, mens tilsvarende verdier for blågrått tak og tak med svart tekning var henholdsvis 9 % og 3 %. Gjennomsnittlig detensjon ved flatene ble målt ved reduksjon av flomtopp og resulterte i 88 % for det grønne taket og 95 % for det blågrå taket [49].

Figur 21 viser resultater fra forskningen. Verdiene viser at både det grønne taket og det blågrå taket demper avrenningen betydelig, slik at belastningen på overvannssystemet reduseres.

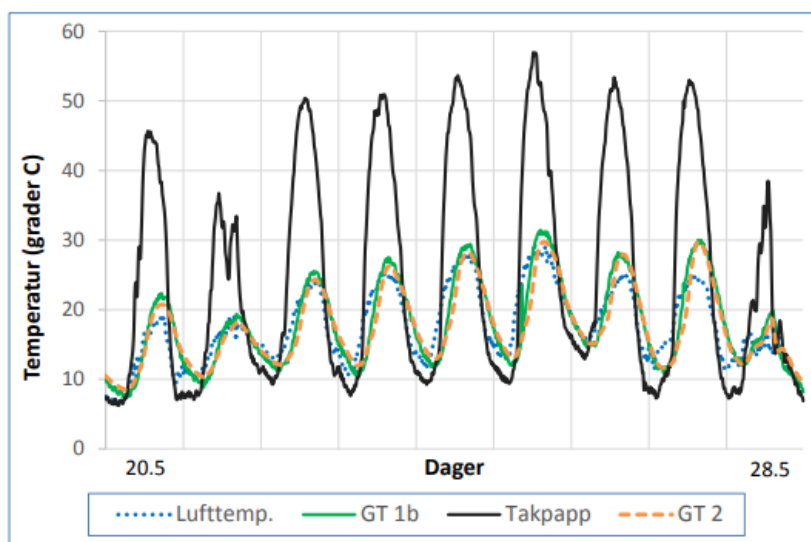


Figur 21: Sammenligning av takflater ved Høvringen forsøksfelt. Øverst: Temperatur (gul) og nedbør (blå). Nederst: Avrenning for de ulike takflatene, svart taktekning (rød), sedumtak (grønn) og blågrått tak (blå).

Hentet fra: SINTEF. [49]

3.3.2. Kjølende effekt

En annen fordel med blågrønne tak er økt isolasjonseffekt, primært med tanke på kjøling i varme omgivelser. I rapporten *Grønne tak og styrregn* utgitt av NVE analyseres grønne taks kjølede effekt. Figur 22 illustrerer hvordan sedumtak med drenering (GT 1b), sedumtak uten drenering (GT 2) og referansetaket med asfaltbelegg medfører ulike temperaturvariasjoner [43]. Resultatene viser at begge de grønne takene medfører en betydelig kjølingseffekt sammenlignet med referansetaket med asfaltbelegg.



Figur 22: Temperaturvariasjoner i luft, under grønne tak og under asfaltbelegg.

Hentet fra: Norges vassdrags- og energidirektorat. [43]

3.3.3. Akustikk

I rapporten *Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives* analyseres blant annet grønne taks effekter på akustiske forhold. Funnene innebærer både at området på utsiden av bygninger oppnår reduksjon av støy gjennom økt absorpsjon av lyd, og at økt transmisjonstap virker lyddempende for innvendige arealer. Grønne tak kan oppnå absorpsjonskoeffisient på 0,4 eller bedre [50], mens verdien for eksponerte takbelegg er 0,06 [51]. For ekstensive grønne tak med lav vekt er det mulig å redusere transmisjonstapet med opptil 10 dB for lave frekvenser og opptil 20 dB for midlere frekvenser [52]. I rapporten poengteres det at siden det er utfordrende å oppnå lydreduksjon i lave frekvenser er denne reduksjonen spesielt nyttig [51]. Den lydreduserende virkningen gjør varianten mer aktuelt i områder med mye støy, og gir muligheter for bedre komfort både innvendig og i uteområder.

3.3.4. Kostnader og levetid

Kostnadene for å bygge blågrønne tak er generelt høyere enn for konvensjonelle kompakte tak. Dette har sammenheng med at den blågrønne konstruksjonen monteres i tillegg til et tett kompakt tak, samtidig som oppbygningen medfører økt belastning som gir strengere krav til bærende konstruksjon. Kompleksitet i prosjektering og gjennomføring medfører økte utgifter i form av arbeidstimer og materialbruk. Siden fuktskader er vanskeligere å oppdage når taktekningen er gjemt under et grønt dekke, kan uoppdagede skader medføre store kostnader. Det bør på et tidlig stadium vurderes om fordelene ved blågrønne tak veier opp for de økte kostnadene.

Kompakte taks levetid kan forlenges betydelig ved å bruke grønt dekke. Dette skjer ved at takbelegget skjermes fra UV-stråling samtidig som temperaturvariasjonene reduseres [43]. I artikkelen *Grønne tak for flomdemping* fremstiller forsker Bent C. Braskerud funn gjort ved NVEs forsøksanlegg i Oslo, der grønt tak ble sammenlignet med et referansetak med asfaltbelegg. Figur 23 fremstiller det aktuelle taket. Temperaturmålinger viste at temperaturen under det grønne dekket var 33 grader, mens den var 57 grader under referansedelen [36]. Resultatene tydeliggjør hvordan det grønne dekket beskytter takbelegget mot varme.



Figur 23: Grønt tak og referansetak på garasje i Oslo. Hentet fra: Norges vassdrags- og energidirektorat. [36]

3.3.5 Vedlikehold

Grønne tak er mer vedlikeholdskrevende enn tak uten vegetasjon. For at plantene skal trives er det nødvendig med riktig tilskudd av vann og næring, samtidig som løv og annet plantemateriale kan tette renner og sluk. Siden vegetasjonen tåler begrenset belastning, både i form av tørke, vannmengder og trafikk, er det gjerne behov for utskiftning av visse vegetasjonsområder med jevne mellomrom. Vedlikeholdsbehovet varierer ut fra valgt vegetasjon, og det vil øke dersom det stilles strenge krav til takets estetikk.

3.3.6. Miljø og arealutnyttelse

For å vurdere om blågrønne tak er et fremtidsrettet alternativ bør også miljøaspekter tas hensyn til. Ved å fungere som habitat for planter, fugler og insekter legger taktypen til rette for økt biodiversitet. Dersom svartelistede arter blir brukt kan det gi negative konsekvenser for områdets natur. Ved valg av materialer bør miljøpåvirkning vurderes. Dette kan blant annet gjøres ved hjelp av livsløpsanalyser og utslippsdeklarasjoner. Dersom stedegne arter som passer til arealets bruk og klima benyttes, kombinert med miljøvennlige materialer, kan blågrønne tak være et positivt miljøtiltak.

Grønne arealer på tak kan fungere som rekreasjonsområde, og gir et mer naturlig urbant miljø. Brukerne får på denne måten tilgang til et område som tradisjonelt kun har blitt brukt til å oppfylle takets tekniske funksjon. I urbane områder er tomtene ofte dyre, og verdien av å ta i bruk ubenyttede arealer er derfor høy. Bruk av vegetasjon som planter, busker og trær gir en estetisk opplevelse som kan være fordelaktig for brukernes komfort. Grønne tak gir varierte muligheter for uteområder i umiddelbar nærhet til brukerne.

4.0. Glasstak og overlyselement

Forskning på glassets egenskaper som byggemateriale er i stor utvikling og kan være med på å energiøkonomisere bygg. Ved riktig prosjektering og utførelse kan glasstak og overlyselement i tillegg bidra til at den generelle brukeropplevelsen av bygget heves. Se Figur 24 og Figur 25 for eksempler på glasstak. Dette kapittelet tar for seg hovedtyper av glasstak samt ulike risikomomenter, fordeler og utfordringer knyttet til bruk av glass som bygningsdel på tak.



Figur 24: Glassgård. Hentet fra: SINTEF. [53]



Figur 25: Glasstak. Hentet fra: Glass&Fasade. [54]

4.1. Hovedtyper

4.1.1. Glassgårder

Glassoverdekte atrium og glassgårder er velkjente elementer i bygg som særlig benyttes i større bygg som for eksempel næringsbygg og skoler. Glass i takkonstruksjonen kan fungere som kommunikasjonsareal og en buffer mellom ute og inne. Det gir en spennende arkitektur, funksjonelle bygninger og gode dagslysforhold [55]. Figur 26 viser glassgården på NTNU Dragvoll.



Figur 26: Glassgård på NTNU - Dragvoll. Hentet fra: Byggforsk 527.231 Glassgårder i store bygg. [55]

Glassoverbygde arealer er ikke direkte definert i byggeforskriftene og ved prosjekteringsstart må gjeldende forskriftskrav kartlegges med lokale bygningsmyndigheter [56]. En del av de alminnelige kravene må følges. For eksempel må veggen mellom en glassgård og tilliggende bygningskropp prosjekteres som en yttervegg med hensyn til varmeisolering. Dersom glassgården holdes oppvarmet kan dette kravet reduseres ved fremstilt dokumentasjon på at energiforbruket ikke øker eller ved omfordeling mellom bygningsdelene [55]. Generelt må valg av konstruksjonsløsninger og materialkombinasjoner vurderes slik at krav i byggeforskriften tilfredsstilles. Når glass benyttes i tak er det viktig å sørge for riktig glasstype. I nedre glasslag på tak skal det alltid benyttes laminerte glass for å forhindre nedfall av glass ved eventuelle brudd.

4.1.2. Overlyselement og røykventilasjon

Overlyselementer benyttes ofte på kompakte tak og er en transparent bygningsdel som kan fungere som en kilde til komfortventilasjon eller luke for røykventilasjon. Det er også en god kilde til dagslys i bygg med store innearealer, hvor gjennombelysning eller sidebelysning ikke er mulig. Dagslysinfall avhenger både av rommets geometri og skjerming i tillegg til kuppelens lystransmisjon, lysåpningens areal og høyde/utforming på sarg og karm [57].



*Figur 27: Overlyselement på kompakt tak.
Hentet fra: Byggforskserien 525.775 Overlyselementer på kompakte tak. [57]*

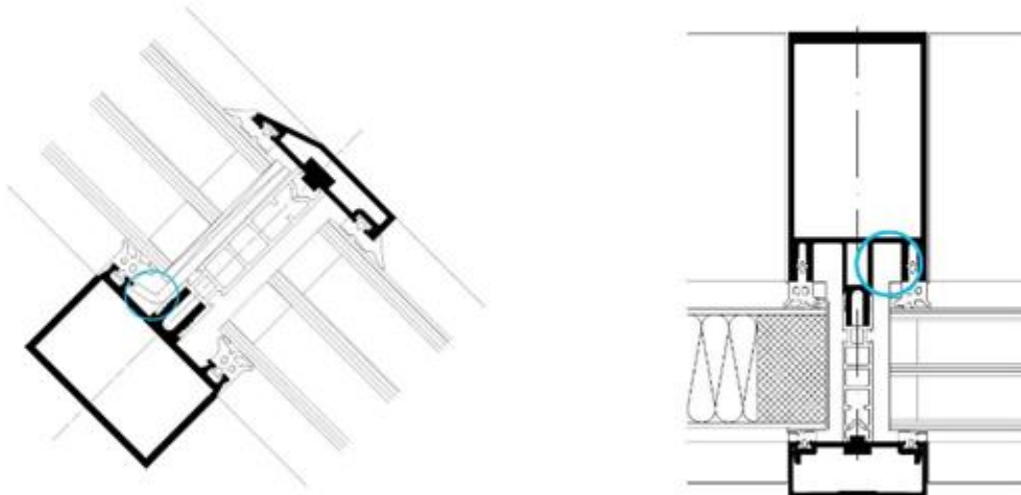
Røykluka reduserer spredning av tett røyk ved en oppstått brann i bygget og hindrer at røykgasser varmes opp til overtenningstemperatur. Lukene må utformes på en slik måte at de kan benyttes hele året, også om vinteren med snøfall og frost [57]. I henhold til veiledningen til byggt teknisk forskrift (TEK17) må røyklukene ha tilfredsstillende og sikker tilførsel av elektrisk strøm for å sikre funksjonen under brann (TEK17, kapittel 11, sikkerhet ved brann §11-10 Teknisk installasjoner). I tillegg må overlyselementene med funksjon som røykluke ha et produktsertifikat som tilfredsstiller produktstandarden NS-EN 12101-2. Eksempelvis røyklukas åpningsvinkel, materialets varmemotstand og pålitelighet [57].

4.2. Risikomomenter

For å unngå byggskader knyttet til glasstak må man ta visse hensyn både i prosjekterings-, monterings- og driftsfasen. Taket må være godt testet og ha nødvendig dokumentasjon. Typiske problemområder er overganger mellom glasstak og tilstøtende konstruksjoner, varmetap og overoppheting samt håndtering av nedbør og mekaniske laster.

4.2.1. Vanngjennomtrenging

I bunnen av glasstaket må vannet som kommer inn i dreneringssystemet ledes ut av konstruksjonen. Dersom vannet blir liggende i glassfalsene kan det trenge inn videre i tilstøtende konstruksjoner. Se Figur 28. De blå ringene er dreneringskanalene i profilsystemet.



Figur 28: Profilsystem hvor vann som trenger inn i falsen på horisontale profiler (venstre) ledes til falsen i vertikalprofil (høyre). Hentet fra: SINTEF. [58]

Grundig prosjektering av detaljer med tydelige grensesnitt mellom ulike fag ved montering er viktige momenter som kan bidra til å minimere risikoen for skader. I tillegg krever glasstak oppfølging, vedlikehold og rengjøring. Områdene må dermed ha god tilgjengelighet. Forskjellig U-verdi mellom glasstak og tilstøtende konstruksjon kan føre til kondens og må ha en renneløsning som fanger opp og leder vannet bort. De tekniske løsningene er ofte utviklet av en systemleverandør som tester og dokumenterer glasstakets egenskaper. Systemleverandøren leverer komponentene som inngår i taket og ved montering må leverandørens anvisninger følges [58].

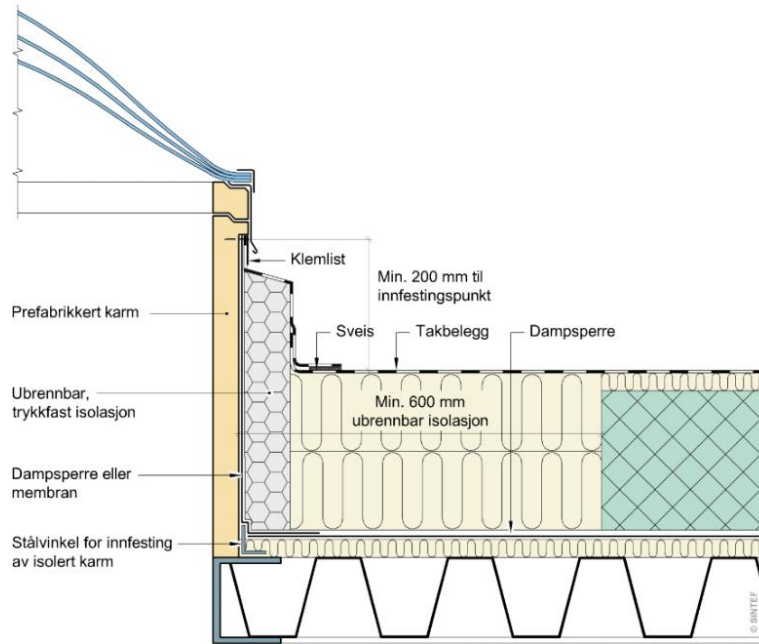
4.2.2. Mekaniske laster og energikrav

Glasstak og overlyskupler må ha mekanisk motstandsevne for å tåle visse laster som både vind og ulike former for nedbør, men også dersom noen eller noe faller på dem. Glasskonstruksjoner på tak kan sikres fysisk med rekkverk rundt glasset eller gitter under kuppelen.

God balanse mellom lav U-verdi og tilstrekkelig avrenning er avgjørende for en god overlyskonstruksjon. En overlyskonstruksjon har høyere U-verdi enn resten av takkonstruksjonen [57]. Dermed vil det kunne være en fare for at smeltevann fra kuppelen fryser til is på den isolerte delen av kompakttaket. Dette kan føre til at smeltevann demmes opp, blir liggende og øker risikoen for fukt- og råteskader. God avrenning av nedbør og smeltevann fra kuppel til frostfritt nedløp vil redusere faren for isdannelse og fuktskader.

Blir U-verdien for lav vil det ta lengre tid før snøen på kuppelen smelter som fører til at dagslysinnslipet reduseres. Dersom overlyselementet har en funksjon som røykluka er det viktig å sørge for at snølast på glasset og isdannelser mellom ramme og karm ikke oppstår. Røykluka må til enhver tid kunne åpnes, derfor må det være nok varmetap i øvre del av overlyset slik at luka ikke fryser fast.

Total U-verdi i glasskonstruksjoner avhenger av varmemotstanden for karm/ramme, kuppel og sarg i tillegg til kuldebroeffekt i overgang mellom kuppel og ramme. Isolert karm og flerlagskuppel forbedrer U-verdien. Det er også et alternativ å bruke en kombinert løsning med ett-lags kuppel med en isolerrute under. Et forebyggende tiltak mot isdannelser mellom ramme og karm er å isolere på utsiden av karmen [57]. Se Figur 29.



Figur 29: Overlyselement med isolert karm på utsiden. Hentet fra Byggforskserien 525.775 Overlyselementer på kompakte tak. [57]

I følge Byggforskserien må U-verdien i overlyskonstruksjonen dokumenteres med måling etter NS-EN 12567-2 og NS-EN 674. Det må tas hensyn til transmisjonsvarmetap og eventuelt solvarmetilskudd fra overlys. Alternativt kan U-verdien beregnes etter NS EN ISO 10077-1, NS-EN ISO 10077-2 og NS-EN 673 [57].

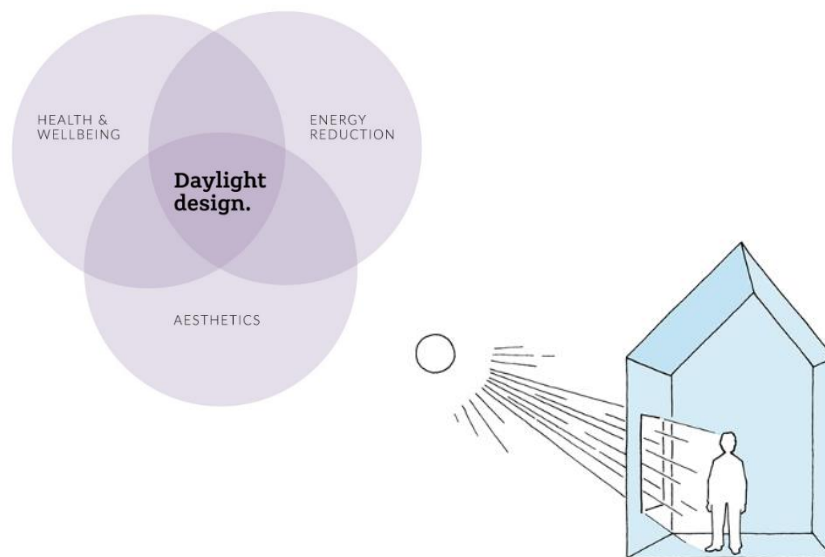
4.3. Fordeler og utfordringer

Glasstak har mange fordeler, men også enkelte utfordringer. I dette kapittelet vurderes noen av de mest sentrale fordelene og utfordringene knyttet til glass i takkonstruksjoner.

4.3.1. Dagslys

I arbeidsplassforskriften kapittel 2 *Krav til arbeidsplasser og arbeidslokaler* under § 2-11 *Belysning* står det skrevet: «Arbeidslokaler og arbeidsplasser skal være utformet og innredet slik at de enkelte arbeidsplasser får tilfredsstillende belysning for å verne arbeidstakernes sikkerhet og helse.» [59]. TEK17 beskriver at dagslyskravet tilfredsstilles ved beregning av en gjennomsnittlig dagslysfaktor på 2 % i henhold til NS-EN 12464-1:2011 [60].

Belysningskravene bestemmes ut fra tilfredsstillelsen av tre grunnleggende menneskelige behov: visuell komfort, visuell ytelse og sikkerhet. Dagslys er dermed en sentral faktor i arkitekturen og kan spare elektrisitet til belysning og kjøling. Se Figur 30 for sammenhengen mellom helse, estetikk og energiproduksjon. Dagslyset er en gratis lyskilde og med naturlig dynamisk oppførsel som har en positiv innvirkning på menneskekroppens fysiologi [61]. I store kontorlokaler hvor dagslys ikke er mulig å oppnå med vanlig vindusstruktur på yttervegger er glasstak et godt tiltak.

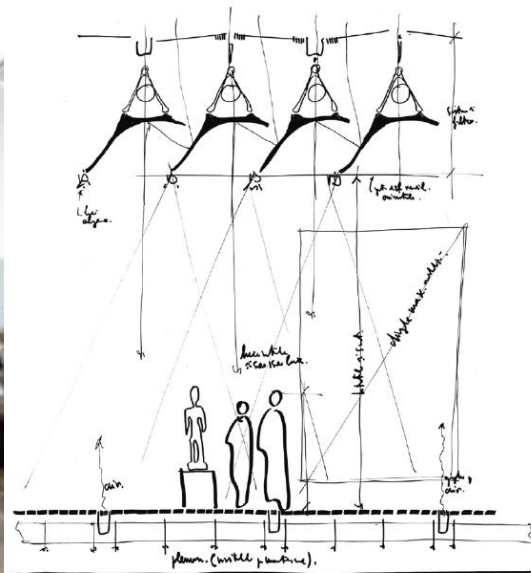


Figur 30: Sammenheng mellom helse, estetikk og energiproduksjon. Figur sammensatt av: Hoare Lea (venstre) [62] og Byggforskserien 421.602 Dagslys. Egenskaper og betydning (høyre). [63]

Til tross for alle fordelene dagslys og glasstak gir er det likevel viktig å ta hensyn til at det er en ustabil lyskilde, blendingsfare og at det er vanskelig å fordele i rom. I en planleggingsfase er det viktig å vurdere størrelse, plassering, glasstype og solavskjerming.

4.3.2. Akustikk

Lydnivå fra ulike aktiviteter og etterklangstid i en glassgård har en direkte sammenheng. Lydnivået er avhengig av aktivitet og antall personer. Stor romhøyde gir muligheter for gode lydforhold ved utplassering av lydabsorbenter med stor flate. Lydabsorbenter er avgjørende for hvilken etterklangstid som kan oppnås og bør prioriteres på alle disponible flater ved etasjene nærmest gangarealene. Dersom det er planlagt å bruke lokalene som forsamlingslokale med tale og musikk er det anbefalt å plassere reflekterende flater i tillegg [56]. Ved riktig plassering og materialvalg kan solskjerming og lydregulering kombineres slik som på Figur 31 [64]. Et fast skyggesystem med akustiske egenskaper kan være gode alternativ til rom som krever både lydregulering og solskjerming.



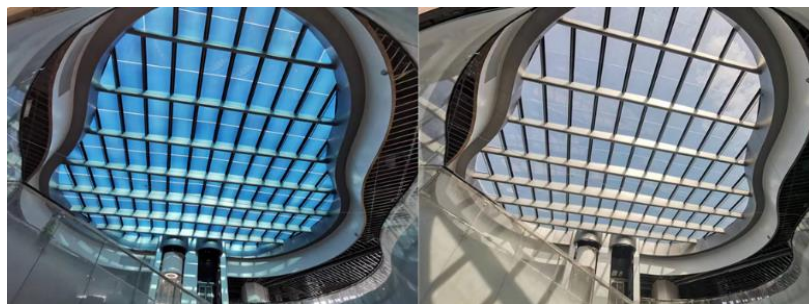
Figur 31: Fast skyggesystem som fungerer positivt på akustikken i rommet.
Hentet fra: Renzo Piano Building Workshop, The Menil Collection. [64]

4.3.3. Temperatur- og energiforhold

Med riktig prosjektering og bruk kan man oppnå god driftsøkonomi ved at det påvirker energibruken og temperaturforholdene i bygningskomplekset. Riktig utforming og valg av U-verdi muliggjør oppvarming av arealet uten å øke det totale energiforbruket til oppvarming, kjøling og ventilasjon. Viktige momenter å ta stilling til i tillegg til utforming er blant annet tilpasning til ulike funksjoner over året, valg av ventilasjons- og luftingsløsninger i kombinasjon med brannventilasjon, valg av solskjermingssystem, glass og materialkombinasjon. Kravene til termisk klima og ønsket temperatur varierer ut fra funksjonen til arealet. Fra Byggforskserien finner man at nedre temperatur for planter er 5 °C, nedre sosial-temperatur er 12 °C mens nedre temperatur for stillesittende aktivitet er 20 °C [55].

4.3.4. Forskning

Glass som byggemateriale er i rask utvikling. Ifølge Bjørn Petter Jelle, Professor ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU, fokuseres det på å utvikle glasselementer som kan utnytte innstrålende solenergi på ulike måter. Blant dette en type nye spesialsolceller som er transparente og kan produsere strøm av solstrålingen samtidig som det slipper gjennom mesteparten av sollyset. Det kan styre solenergien ved å redusere infrarød innstråling og på denne måten redusere både nedkjøling og oppvarming i bygg. Til sammenlikning finnes det i dag lavemisjonsbelegg som hindrer utstråling av energi innenfra og samtidig hindrer sterk innstråling. Det er også utviklet dynamiske smarte glass som regulerer innstrålingen av lys og varme etter ønske. Et eksempel på dynamiske smarte glass er elektrokromatiske glass som regulerer transmisjonen ved hjelp av elektrisk spenning, se Figur 32. En annen fordel er at glass og aluminium som byggematerialer er 100 % resirkulerbare og har betydelig større bruksmuligheter enn det dagens forskrifter legger til rette for [65].



Figur 32: Elektrokromisk glass. Hentet fra: Yongyu Glass Products. [66]

5.0. Fuktanalyse

Det blir stadig strengere krav til varmeisolering og energieffektivitet. Bygninger må ha god nok isolasjonstykkelse og utformes på en måte som gjør bygget så tett som mulig. Dessverre byr lufttette bygg på en del utfordringer. Tette bygg øker risikoen for fuktskader fordi fuktighet ikke slipper ut av bygningen og konstruksjonen. Fukt er vann i fast, flytende eller dampform som i utgangspunktet ikke er skadelig i seg selv. Derimot kan fukt dersom det forekommer i for store mengder eller på feil sted føre til betydelige permanente problemer. Fukt er trolig den enkeltfaktoren som bidrar mest til dårlig innemiljø, korrosjon, frostsprengning, sopp- og råteskader og andre fenomener som fører til kostbar renovering av bygninger [67]. Hyppigheten av fuktskader skyldes flere forhold og det finnes mange ulike fuktkilder og fukttransportprosesser. Ifølge SINTEF har vi i praksis flere hovedfuktkilder. Blant disse er nedbør, byggfukt, fuktighet i inneluft og i uteluft [68].

I dette kapitlet forklares transportformer og prinsipper for prosjektering av fuktsikre konstruksjoner. I tillegg vises det til statistikk samt forebyggende tiltak og strategier for å unngå fuktskader i takkonstruksjoner.

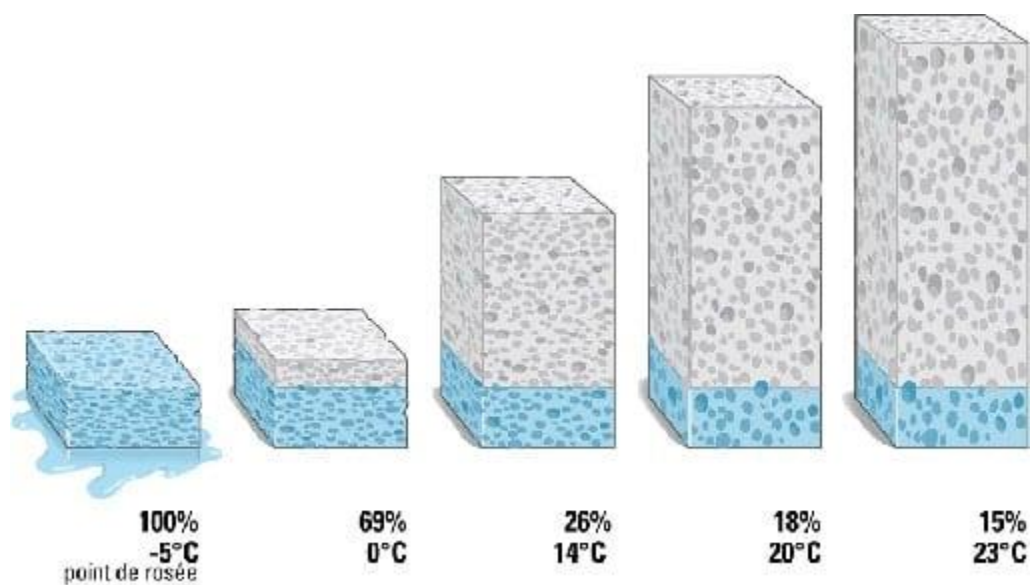
5.1. Transportformer og relativ fuktighet

For å unngå skader forårsaket av fukt er det viktig å ha en forståelse av hvordan fuktighet transporteres gjennom ulike mekanismer. Fukttransport i dampform skjer enten ved dampdiffusjon eller ved fuktkonveksjon.

Vanndampdiffusjon innebærer transport av vanndamp på grunn av forskjeller i vanndamptrykk mellom to områder. For eksempel når det er høyere damptrykk innendørs enn utendørs kan vanndamp diffundere gjennom materialer i takkonstruksjonen fra innsiden mot utsiden.

Porøsiteten til materialet spiller en viktig rolle i hvor effektivt det motstår dampgjennomgang. Fuktkonveksjon skjer når vanndamp transporteres på grunn av forskjeller i lufttrykk mellom ulike områder [68]. En vanlig situasjon kan være at varm og fuktig inneluft med høyere trykk presser seg gjennom utettheter i takkonstruksjonen. Dette kan føre til fuktakkumulering og potensielle skader over tid.

Relativ fuktighet er forholdet mellom vanddampens partialtrykk i en luftblanding og vanddampens metningstrykk ved en gitt temperatur, uttrykt i prosent. Kald luft har tettere molekyler og kan derfor ikke holde på like mye vann som varm luft, hvilket resulterer i høyere relativ fuktighet i kald luft. Relativ fuktighet (RF) beregnes som forholdet mellom partialtrykket til vanddampen og vanddampens metningstrykk. Fuktighet måler mengden vanddamp i luft, ikke den totale mengden damp og flytende vann [69]. Se Figur 33 for enkel illustrasjon over relativ fuktighet.



Figur 33: Enkel illustrasjon over relativ fuktighet. Mengde vann i forhold til luftens mulighet til å holde på vannet.
Hentet fra: Bedre Inn klima AS. [70]

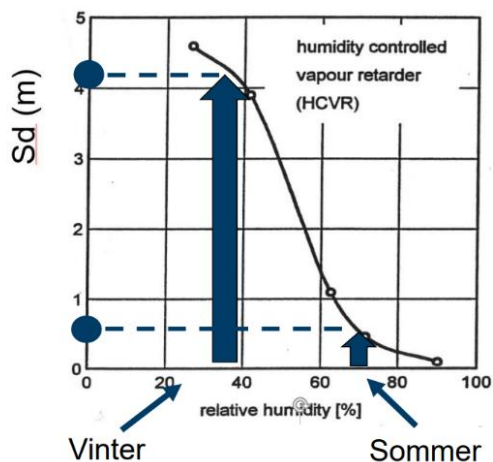
5.2. Sperresjikt

Sentralt i prosjekteringen av bygninger med lavt lekkasjetall er prinsippet om å ha et kontinuerlig sperresjikt rundt klimaskjermen. Dette betyr at utvendig vindtetting og innvendig dampsperre skal danne en sammenhengende barriere rundt hele bygningen. Selv om bygningen skal være helt tett må det likevel være mulighet til å slippe ut fuktighet som skulle trenge seg inn i konstruksjonen. Grundig planlegging av sperresjikt og tilslutningsdetaljer er dermed nødvendig med stadig høyere krav til lufttetthet [71].

5.2.1. Dampsperre

Dampsperre er et luft- og diffusjonstett sjikt som hindrer at fukt transporteres fra varm side og ut i konstruksjonen samt at det ikke oppstår trekk og varmetap. Dersom den fuktige lufta trekker inn i konstruksjonen vil den kondensere inne i konstruksjonen der det er kaldere, og danne grunnlag for råte- og muggdannelse. For å oppnå god tetthet må dampsperreren teipes og klemmes i skjøter. Det er viktig at den ikke har hull og skader. SINTEF anbefaler at dampsperrer bør ha en vanddampmotstand på minst $50 \cdot 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ eller en ekvivalent luftlagstykkelse, S_d -verdi, på minst 10 m [9].

For flate kompakte tak er det mest vanlig å bruke dampsperre av 0,20 mm tykk polyetylenfolie (PE-folie) [6]. Det er viktig å gjøre en helhetsvurdering av bygningen for å velge riktig type dampsperre. Et alternativ til vanlig dampsperre er å bruke en dampsperre med uttørkningsmulighet. Smart dampsperre fungerer som vanlig dampsperre i tørr tilstand, men slipper gjennom fukt i fuktig tilstand [9]. Se Figur 34.

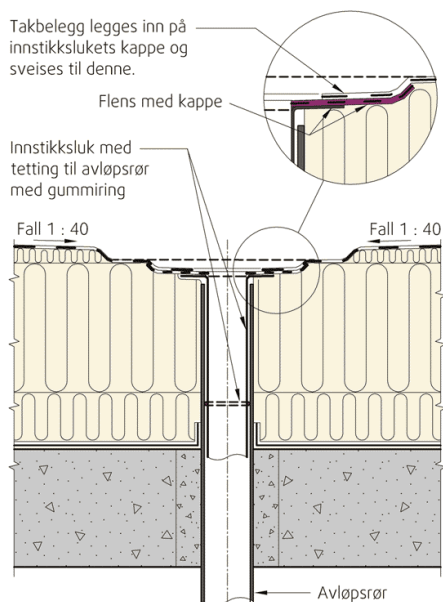


Figur 34: Smart dampsperre, variabel S_d -verdi. Hentet fra: SINTEF. [72]

Et eksempel er når sola varmer opp taktekningen. Når utvendig side får høyere temperatur enn innvendig side vil fukt diffundere innover og kondensere på dampspærren. Smart dampsperre kan gi kompakte tak selvuttørkningsevne når sola varmer på taket ved å slippe ut innestengt fukt fra takkonstruksjonen [6]. I tillegg vil smart dampsperre muliggjøre enklere og sikrere terskelfrie løsninger for utgang ved terrasse.

5.2.2. Vindsperre

Til tross for at det benyttes en dampsperre med høy S_d -verdi og det tettes godt vil noe fuktig luft komme ut i konstruksjonen. Det er viktig at denne fuktigheten får mulighet til å tørke ut. Samtidig er det ønskelig å hindre kald luft utenfra å blåse inn i konstruksjonen og kjøle den ned. Dette sikres ved å bruke en dampåpen vindsperre med lav S_d -verdi mot kald side av konstruksjonen. SINTEF anbefaler at vindsperrer bør ha en S_d -verdi på maksimum 0,5 m og helst mindre enn 0,2 m. Generelt sett bør vindspærren være 10 ganger mer dampåpen enn dampspærren [9]. Kompakte tak må ha vanntrykkstette belegg med dokumenterte egenskaper. Skjøter må sveises med overlapp for å oppnå god tetting [73]. Se Figur 35 for hvordan man kan oppnå god tetting rundt gjennomføringer som for eksempel sluk.

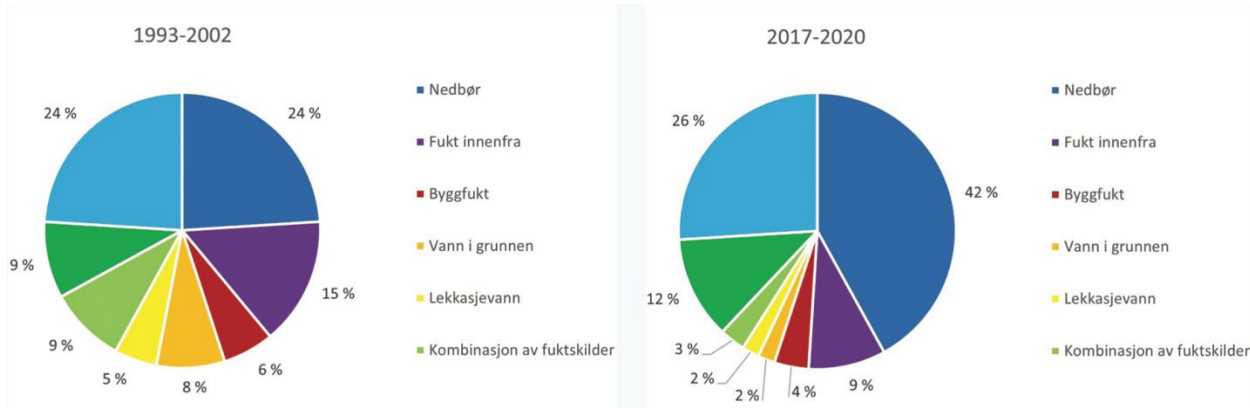


Figur 35: Detalj inntekning av sluk festet i renne med lokal forsenkning.
Hentet fra: Byggforskserien 544.204 Tekking med asfaltbelegg eller takfolie. Detaljløsninger. [73]

5.3. Fuktskader

Bygninger i Norge utsettes for hard værpåkjening og høy fuktbelastning. Klimaendringer fører til mer nedbør og høyere temperaturer som øker belastningen på bygninger. Det vil kreve større fokus på å iverksette tiltak for å sikre bygningers tetthet mot vanninntrenging utenfra og redusere risikoen for fuktskader. Det er nødvendig å skille mellom fukt og vann når man diskuterer problemer og årsaker. Vannrelaterte problemer som lekkasje eller flom, er vanligvis akutte hvor problem og årsak er synlig og ofte opplagt. Fuktighet er vanddamp og usynlig i sin form. Fukt er dermed et snikende og permanent problem som gradvis forverres [74].

I Byggteknisk forskrift er det krav om at nedbør, bruksvann og luftfuktighet ikke skal trenge inn i konstruksjonen og gi fuktskader, mugg- og soppdannelse eller annen biologisk aktivitet som påvirker innemiljøet negativt [75]. Likevel viser en undersøkelse utført av SINTEF at nesten 3 av 4 skadetilfeller de siste årene skyldes fukt. Blant annet på grunn av fukt fra nedbør, ved kondens fra fuktig inneluft eller på grunn av byggfukt [76]. Figur 36 viser fordelingen av skadekilder for prosessforårsakede byggskader i perioden 1993-2002 sammenlignet med 2017-2020.



Figur 36: Fordeling av skadekilder for prosessforårsakede byggskader. Hentet fra: Byggeindustrien. [76]

Av diagrammene ser man at andelen fuktskader er stabil, men at man får en annerledes fordeling mellom fuktskadekilder. Strengere krav til lufttetthet har økt fokuset på utførelsen av damp- og vindsperresjiktet. Tettere bygninger og bedre ventilasjon reduserer andelen av skader forårsaket av luftlekkasjer fra inneluft med påfølgende kondensering. Derimot er andelen nedbørsskader økende, spesielt for kompakte tak. Over 30 % av takskadene i undersøkelsen var knyttet til

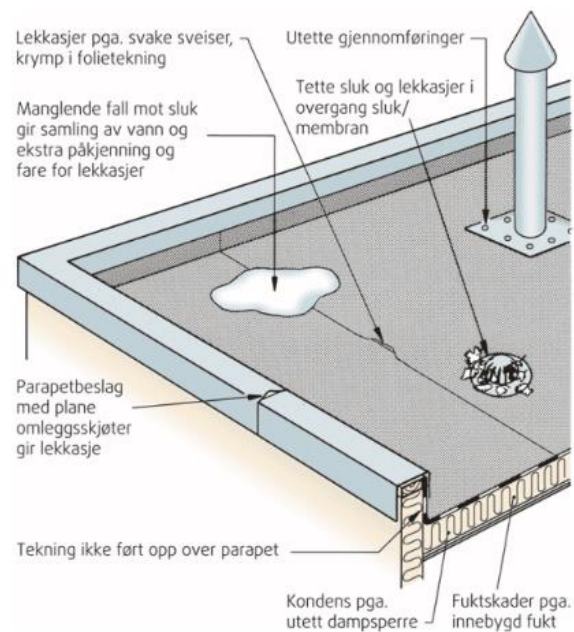
kompakte tak, og 40 % til kompakte terrasser. Til sammen utgjorde skader i kompakte konstruksjoner omtrent 3/4 av alle innrapporterte takskader i perioden 2017-2020. Dette viser både at kompakte takkonstruksjoner er mer utbredt og at det fremdeles er utfordrende å sikre konstruksjonen mot vanninntrenging. Finans Norge har utført statistikk over forsikringssaker som samsvarer med SINTEFs byggskaadearkiv [76].

5.3.1. Skadekilder i kompakte tak

Typiske årsaker til fuktskader skyldes ofte [77]:

- Tette nedløp grunnet løv og rusk. Vannet demmes opp på tak som mangler overløp og øker risikoen for lekkasje i overganger mot vegger, gjennomføringer og andre takkonstruksjoner.
- Ising ved raft, renner og nedløp på feilkonstruerte tak.
- Punktert tekning på grunn av mekaniske påkjenninger.
- Kondens fra dampdiffusjon og/eller fuktkonveksjon.
- Lekkasje ved takgjennomføringer som pipe, overlyselement og andre komponenter på tak.

Figur 37 illustrerer typiske årsaker til fuktskader.



Figur 37: Vanlige skader og feil på flate kompakte tak. Hentet fra: SINTEF. [77]

For lite fall mot sluk og manglende overløp kan føre til stående vanddammer etter intens nedbør eller snøsmelting. Vann som blir liggende over tid øker påkjenningen på tekningen og det blir større risiko for at vann trenger gjennom tekningen via eventuelle utettheter. Se Figur 38 og Figur 39 for eksempler på hva som skjer med avrenningen ved feil prosjektering og/eller utførelse.



Figur 38: For lite fall mot sluk og manglende overløp fører til vanddammer på tak. Hentet fra: SINTEF. [77]



Figur 39: For lite fall mot sluk og hindringer. Hentet fra: SINTEF. [77]

Dersom gjennomføringer i taket ikke blir plassert i høybrekkene hindres avrenningen. Fundamenter for installasjoner kan være et hinder i avrenningen samtidig som det er et risikoområde i tekningsarbeidet. Områder med ettermonterte fester er også utsatt for vannskader og oppdages oftest etter oppdemning av vann på grunn av isdannelser eller tette nedløp [8].

Kompakte tak har en lufttett utforming og er utsatt for fuktproblemer dersom fukt trenger inn i taket [78]. Sprekker og deformasjoner kan dannes over tid på grunn av termisk ekspansjon og sammentrekning [2]. Bygningsmaterialer som betong og tre har i utgangspunktet overskudd av fukt, og dersom takarbeidet foregår i nedbørsrike perioder vil det komme betydelige mengder fukt inn i konstruksjonen. Dermed er det ekstra viktig å la konstruksjonen tørke før man legger dampsperre over bærematerialene. Trevirke mellom damptette sjikt bør unngås fordi byggfukt kan føre til mugg- og råteskader og dermed strukturell skade som på Figur 40.



*Figur 40: Kompakt tak med bindingsverk av tre utsatt for skade ved uheldig utførelse.
Hentet fra: Roofing Magazine. [79]*

Dersom taket har gjennomføringer og/eller oppbygninger som er plassert nært inntil hverandre eller nær konstruksjoner på taket som for eksempel parapet, kan tekkearbeidet bli utfordrende. Se Figur 41. På slike områder kan det på grunn av dårlig tilgjengelighet for utførende taktekker bli utettheter i taket, oppdemming av vann og påfølgende lekkasjer.



Figur 41: Eksempel på gjennomføringer plassert på en måte slik at tekkearbeidet blir utfordrende å utføre på riktig måte. Hentet fra: Byggforskserien 725.118 Skader i kompakte tak. Årsak og utbedring. [8]

5.3.2. Forebyggende tiltak og strategier

For å minimere risikoen for fuktskader i kompakte takkonstruksjoner, er det avgjørende å implementere forebyggende tiltak og strategier. Følgende punkter bør vurderes [80]:

Dampsperre:

- Dampsperre må være kontinuerlig og klemmes og teipes i skjøter.
- Manglende installasjon av dampsperre i kompakte tak med ujevne bærekonstruksjoner kan føre til uønsket fuktansamling.
- Plasstøpte betongdekker må ha et dampsperrsjikt over for å forhindre at byggfukt fra betongen trenger inn i takkonstruksjonen.

Fuktbeskyttelse under bygging:

- Sørg for at fukt ikke trenger inn i taket under byggeprosessen.
- Pass på at regn og snø ikke blir fanget inne i isolasjonssjiktet.

Materialvalg:

- Velg riktig dampsperrmateriale: 0,2 mm PE-folie er mer damptett enn 0,8 mm PVC, mens sveiset PVC-belegg gir høyere lufttetthet.
- Vær oppmerksom på at asfalt takbelegg er mer damptett enn takfolie og gir derfor mindre uttørking.

Isolasjon:

- Isolasjonstykkelse og type har begrenset effekt på uttørkingsprosessen.

Tekking:

- Lys tekking gir mindre uttørking innover sammenlignet med mørk tekking.
- Sørvendte, hellende tak gir bedre uttørking innover enn nordvendte eller flate tak.

Det er viktig å planlegge utførelsesdetaljene nøye for å unngå improviserte løsninger som kan føre til problemer. SINTEF Byggforsk påpeker at utstyr montert på taket ofte forårsaker skader, særlig etter ferdigstillelse. Derfor bør plassering og monteringsbehov for antenner, tekniske installasjoner, kabelgater og gangbaner avklares på forhånd. Gjennomføringer må plasseres nær høybrekk og minst 300 mm fra parapeter, vegger eller andre gjennomføringer for å sikre korrekt tekkearbeid. Overganger mellom tak og vegg er en vanlig kilde til fuktskader, og krever særlig oppmerksomhet for korrekt tetting. Beslag bør monteres straks takbelegget er lagt, eller

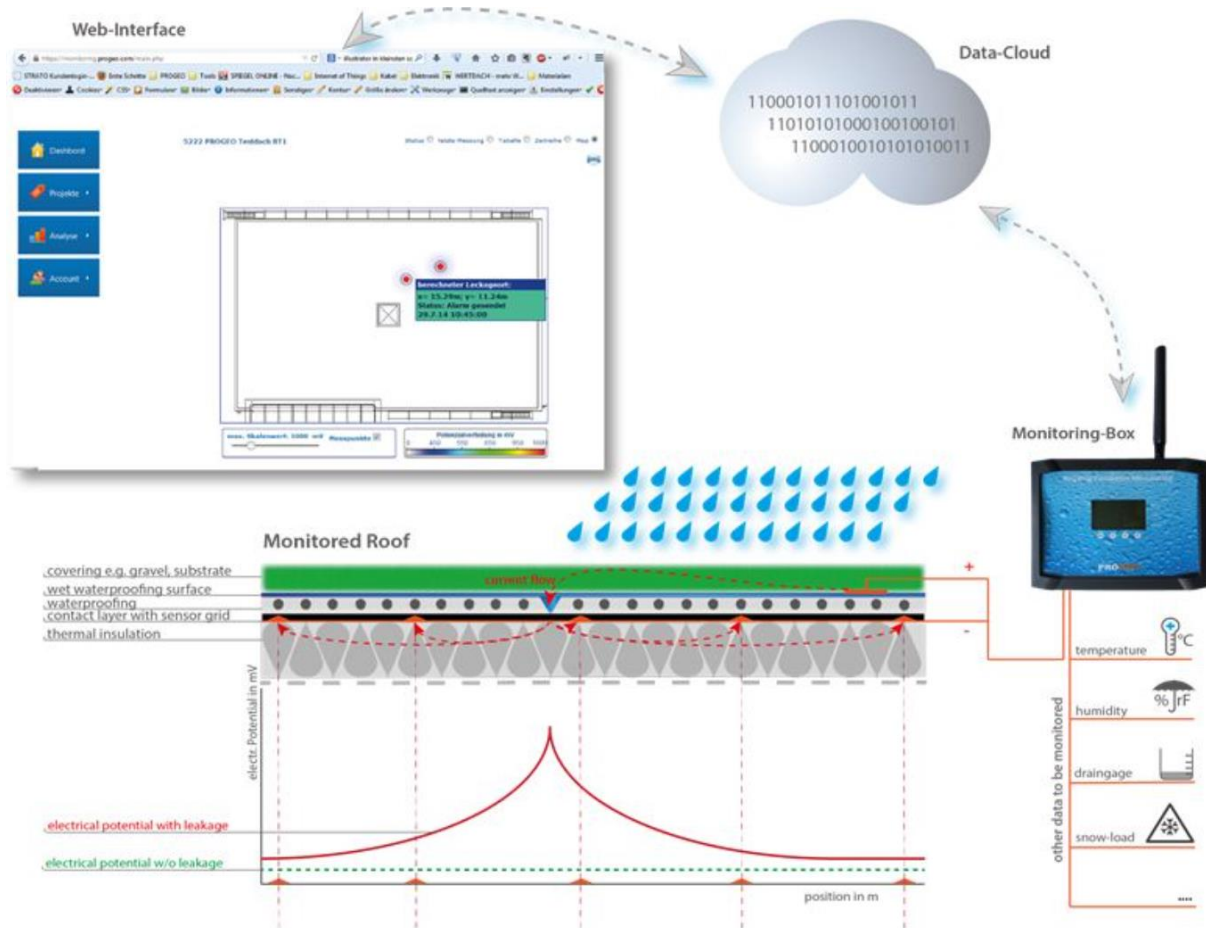
midlertidig dekkes til for å hindre vanninntrengning. Takbelegget må beskyttes hvis arbeidene fortsetter etter at det er lagt [73].

En effektiv metode for å forebygge fuktskader i kompakte takkonstruksjoner er å gjennomføre vanninntrengningstest med farget vann. Denne prosessen innebærer å lage et basseng på taket og fylle det med vann tilsatt et fargestoff for å lettere identifisere eventuelle lekkasjer. Ved å observere om det fargede vannet trenger gjennom takkonstruksjonen, kan man avdekke utettheter og svakheter før de forårsaker alvorlige skader. Dette forebyggende tiltaket gir mulighet for tidlig identifikasjon og utbedring av problemområder, og bidrar dermed til å sikre takets integritet og forhindre fremtidige fuktskader. I tillegg fungerer denne testen som en viktig faktor for ansvarsfraskrivelse og ansvarsfordeling mellom taktekkere og andre involverte parter. Når taket leveres fra taktekkere til videre arbeid, kan en vellykket vanninntrengningstest dokumentere at taket er tett og fritt for feil, og dermed klargjøre ansvarsområdene dersom det oppstår problemer senere i prosessen. Figur 42 viser et kompakt tak hvor en slik test har blitt utført.



*Figur 42: Kompakt takkonstruksjon der test er utført. Legg merke til rødfargen som er brukt.
Hentet fra: Privat foto fra befaring på Teknostallen.*

Et annet tiltak for å identifisere utettheter i takmembranen og forebygge fuktskader kan være å installere fuktsensorer i takkonstruksjonen. Et eksempel på slik teknologi er Smartex. Det er et system som overvåker tetningssystemer i sanntid. Systemet muliggjør kontinuerlig og automatisk overvåkning av flate tak hvor vannlekkasjer oppdages umiddelbart så snart vann trenger inn i konstruksjonen. Det registrerer elektriske strømmer gjennom et kontaktlag og nettverk av sensorer under membranen. Når membranen svikter aktiveres en alarm og gir eksakt lokasjon av lekkasjen i en nettbasert overvåkningsportal, se Figur 43. Dette reduserer risikoen for sen oppdagelse av skader og påfølgende konsekvensskader på konstruksjonen [81]. Med slik teknologi er det mulig å utføre reparasjoner i et tidlig forløp, forlenge renoveringssyklusen og redusere vedlikeholdskostnader.



Figur 43: Smartex overvåkningssystem. Hentet fra: PROGEO. [81].

5.4. Simuleringer – WUFI og THERM

For å analysere risikoområder og oppdage potensielle feil i prosjekteringen av kompakte takkonstruksjoner, kan simuleringprogrammer som WUFI og THERM være svært nyttige verktøy. WUFI (Wärme und Feuchte Instationär) er et simuleringprogram utviklet av Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland. WUFI er spesielt utviklet for å simulere varme- og fukttransport i bygningselementer, noe som gjør det mulig å identifisere hvor og når fuktproblemer kan oppstå. Det beregner fukt- og varmetransport i bygningsdeler i to dimensjoner basert på materialeegenskaper, initialbetingelser og klima, over en brukerspesifisert tid. Resultatene vises som dynamiske figurer som inkluderer relativ fuktighet, temperatur, damptrykk og vanninnhold, og det er mulig å lage grafer over spesifikke områder, som for eksempel overganger mellom ulike sjikt.

THERM, på sin side, gir detaljerte analyser av kuldebroer og termiske egenskaper i byggematerialer. THERM er et simuleringprogram utviklet av Lawrence Berkeley National Laboratory som brukes til å modellere todimensjonal varmeoverføring i bygningskomponenter. Programmet er spesielt nyttig for å analysere termiske broer og andre områder med kompleks varmeoverføring. THERM gir detaljerte og presise analyser av bygningsdeler som vinduer, vegger og tak, og beregner blant annet U-verdier og overflatetemperaturer. Dette gjør det til et viktig verktøy for arkitekter og ingeniører som ønsker å designe energieffektive bygninger og forebygge fuktproblemer [82].

Ved å bruke disse programmene tidlig i prosjekteringsfasen, kan man avdekke svakheter og risikoer som ellers kunne ha ført til fuktskader, og dermed optimalisere design og materialvalg for å sikre en mer pålitelig og holdbar takkonstruksjon.

6.0. Teknostallen – Bygningsfysisk premissdokument

Dette kapittelet fremstiller bygningsfysiske premisser for taket ved Teknostallen. De bygningsfysiske premissene danner grunnlag for både planlegging, prosjektering og gjennomføring av byggeprosessen. Myndighetskrav, klimatiske forhold, ønskede spesifikasjoner fra byggherre og bruk av bygget er blant faktorene som påvirker hvordan konstruksjonene bør utformes. I dette dokumentet er det i tillegg til typiske bygningsfysiske aspekter inkludert forhold tilknyttet brann, akustikk og lys.

6.1. Klima

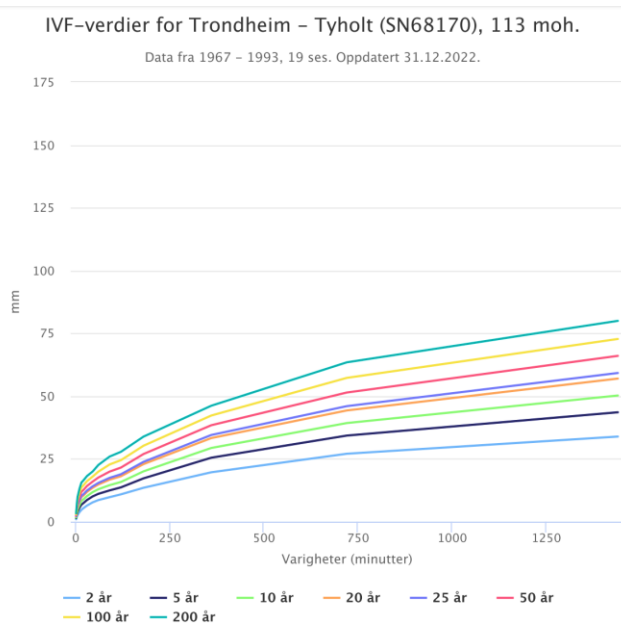
6.1.1. Lokalklima

Teknostallens plassering sentralt i Trondheim medfører visse klimatiske forhold som det må tas hensyn til i byggeprosessen. Tabell 2 viser sentrale klimadata for Trondheim.

Tabell 2: Klimadata for Trondheim. Data er hentet fra: Byggforskserien 451.021 og 451.031. For laveste ettdøgns og tredøgns middeltemperatur er versjon 6.0 av 451.021 benyttet.

Måling	Verdi
Årsmiddeltemperatur	6,3 °C
Laveste ettdøgns middeltemperatur	-23,1 °C
Laveste tredøgns middeltemperatur	-22 °C
Dimensjonerende frostmengde (F ₅₀)	14 000
Dimensjonerende frostmengde (F ₁₀₀)	16 000
Årlig regn	749 mm/år (Voll værstasjon)
Slagregn	451 mm/år (Voll værstasjon)
Hovedretning slagregn	230 ° i forhold til nord (Voll værstasjon)

Figur 44 viser nedbørintensitet for Trondheim (Tyholt) målt gjennom IVF-verdier (intensitet, varighet og frekvens). IVF-kurvene fremstiller forventet mengde nedbør målt i mm for ulike varigheter angitt i minutter, med ulike gjentakintervaller representert.



Figur 44: IVF-kurver for Trondheim (Tyholt). Hentet fra: Norsk klimaservicesenter. [83]

For å sikre tilstrekkelig dimensjonering bør det tas hensyn til økning i kraftig nedbør på grunn av klimaendringer. Derfor legges et klimapåslag til verdiene. Tabell 3 viser klimapåslag som bør benyttes ut fra aktuelt gjentakintervall og varighet [83]. Nedbørintensitet bør inkluderes i datagrunnlaget for prosjekteringen med tanke på overvannshåndtering og fuktproblematikk.

Tabell 3: Klimapåslag for kraftig nedbør. Hentet fra: Norsk klimaservicesenter. [83]

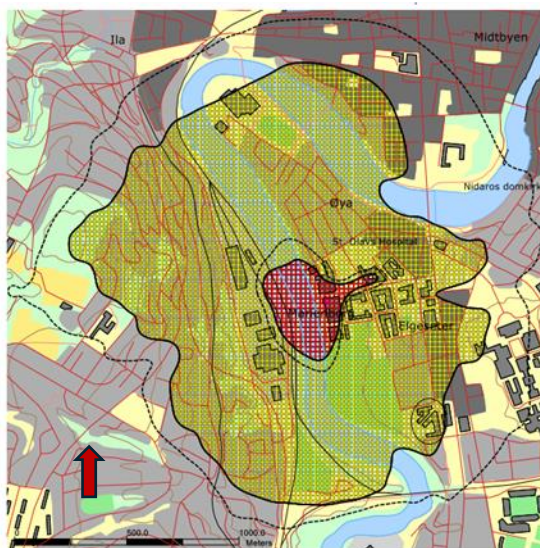
	Dimensjonerende gjentakintervall < 50 år	Dimensjonerende gjentakintervall ≥ 50 år
≤ 1 time	40 %	50 %
>1 - 3 timer	40 %	40 %
>3 - 24 timer	30 %	30 %

6.1.2. Inneklima

Med tanke på inneklima er det hovedsakelig rommene i øverste etasje og et stort atrium som fungerer som hageareal som påvirker prosjektering av takkonstruksjonen ved Teknostallen. Øverste etasje vil primært bestå av kontorer. Byggforskserien 421.505 *Godt inneklima i yrkesbygninger* angir at operativ temperatur ved rolig aktivitetsnivå bør være mellom 19 - 24 °C om vinteren og 23 - 26 °C om sommeren når normalt forventningsnivå legges til grunn. Relativ luftfuktighet kan variere mellom 30 og 60 % med årstidene siden fuktinnholdet i uteluften i varme deler av året er betydelig større enn om vinteren. For å unngå vekst av mikroorganismer er det ønskelig å unngå relativ fuktighet over 40 % om vinteren. Samtidig bør relativ luftfuktighet under 15 % unngås av hensyn til komfort og helse til brukerne [84]. Atriet bør følge anbefalinger i TEK17 som angir at operativ temperatur ved lett arbeid bør være mellom 19 og 26 °C [85].

6.1.3. Støyforhold

For å legge til rette for gode akustiske forhold på uteområdet på taket bør flere momenter vurderes. Aktuelle støykilder i området er blant annet helikopterlandingsplass ved St. Olavs Hospital, biltrafikk og nabobygninger. SINTEF har opprettet støysoner for landingsplassen ved sykehuset. Figur 45 viser støysonekart med Teknostallens plassering i ytterkant av gul sone markert med rød pil. Gul sone defineres som en sone hvor «støyfølsom bebyggelse kan oppføres dersom avbøtende tiltak gir tilfredsstillende støyforhold» [86].



Figur 45: Støysonekart utarbeidet av SINTEF. Hentet fra: SINTEF. [86]

6.2. Prosjektspesifikke krav

6.2.1. BREEAM

Prosjektet skal sertifiseres innenfor BREEAM og WELL. Den tekniske manualen BREEAM-NOR 2016 for nybygg informerer om at BREEAM står for «Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology» og er en metode for å vurdere og sertifisere bygningers bærekraftsegenskaper. Det beskrives at metoden brukes til å evaluere «energi- og vannbruk, helse og innemiljø, forurensning, transport, materialer, avfall, arealbruk, økologi og ledelsesprosesser». Klassifiseringen bruker en skala med inndelingene «Pass», «Good», «Very Good», «Excellent» og «Outstanding» [87]. For Teknostallen er det bestemt at prosjektet skal oppnå sertifiseringen «Excellent». Siden bygget består av både kontor- og næringslokaler er det valgt å kun sertifisere kontorarealene, slik at det er tilstrekkelig å gjennomføre én registreringsprosess, se vedlegg 1. Nødvendig poengsum for klassifiseringen «Excellent» er 70 % eller bedre [87].

6.2.2. WELL

WELL er et system for vurdering og sertifisering av bygningers påvirkning på menneskers helse. Dette måles gjennom påvirkning av luft, vann, ernæring, lys, mental helse, komfort og trening [88]. Teknostallen skal oppnå klassifiseringen «Platinum», se vedlegg 1. Dette krever poengsum 80 % eller bedre [89].

Andre relevante krav til prosjektet: Det er besluttet at prosjektet skal kategoriseres som energiklasse A, samtidig som betong skal være lavkarbonklasse A, se vedlegg 1.

6.3. Byggtekniske forskrifter

For å kontrollere at prosjektet tilfredsstillt krav gitt i byggteknisk forskrift (TEK17) er det utformet en oversikt over de mest relevante kravene [90]. I dette premissdokumentet er krav angående fukt, energi, brann, lys og lyd gjengitt. Sentrale krav legger føringer for både materialers egenskaper og hvordan oppbygning bør baseres på hensiktsmessige kombinasjoner av materialer ut fra påkjenningen de utsettes for. Ved å følge kravene kan taket bidra til et energieffektivt bygg med komfortable lys- og lydforhold, samtidig som lang levetid og brannsikkerhet er ivaretatt.

6.3.1. Fukt

Tabell 4: Oversikt over krav tilknyttet fukt i byggteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav
Fukt (§ 13-9)	«Grunnvann, overvann, nedbør, bruksvann og luftfuktighet skal ikke trenge inn og gi fuktskader, soppdannelse eller andre hygieniske problemer.»
Fukt fra inneluft (§ 13-13)	«Bygningsdeler og konstruksjoner skal prosjekteres og utføres slik at det ikke oppstår fuktskader på grunn av kondensert vanndamp fra inneluften.»
Byggfukt (§ 13-14)	«Produkter og konstruksjoner skal være så tørre ved innbygging eller forsegling at det ikke oppstår problemer med soppdannelse, nedbrytning av organiske materialer eller økt avgassing.»

Tabell 5: Preaksepterte ytelser tilknyttet fukt i byggteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Preaksepterte ytelser
Fukt (§ 13-9)	«Fuktømfintlige produkter til byggverk må holdes tørre under lagring, transport og i byggefasen.»
	«Materialer, produkter og bygningsdeler må tåle den fuktpåkjenningen de kan forventes å bli utsatt for, uten å gi skader eller negative konsekvenser for innklimaet.»
Fukt fra inneluft (§ 13-13)	«I varmeisolererte yttervegger og tak, og i innvendige isolerte skillekonstruksjoner mellom varme og kalde rom, må det være et luft- og damptett sjikt, normalt en egen dampspærre, på varm side av varmeisolasjonen.»
	«Vindsperresjiktet på utsiden av isolasjonen må være mest mulig dampåpent og vende mot et ventilert hulrom. Konstruksjonen får da en selvuttørkingsevne.»
	«Dampspærren må ha en vanndampmotstand, Sd-verdi, større eller lik 10 meter.»
	«Dampspærresjiktet og vindsperresjiktet må utføres med lufttette skjøter.»
	«For å sikre rask og god uttørking må det ikke benyttes sjikt med stor damptetthet andre steder i konstruksjonen, enn i dampspærresjiktet.»
Byggfukt (§ 13-14)	«Produkter og konstruksjoner må tørkes ut, slik at fuktinnholdet i materialene kommer under kritisk verdi.»
	«For å unngå soppangrep på trevirke, må trevirke inneholde mindre enn 20 vektprosent fukt.»
	«I konstruksjoner med lav uttørkingsevne (for eksempel konstruksjoner mot terreng) må fuktinnholdet i trevirket være lavere enn 15 vektprosent fukt før innbygging.»
	«Fuktnivået må være under kritisk verdi for den aktuelle materialkombinasjonen, for å unngå nedbrytning av myknere i PVC-belegg i kombinasjon med lim eller avrettingsmasser.»

6.3.2. Nedbør

Tabell 6: Oversikt over krav tilknyttet nedbør i byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav
Nedbør (§ 13-12)	«Tak skal prosjekteres og utføres med tilstrekkelig fall og avløp slik at regn og smeltevann renner av. Nedbør, snøsmelting og ising skal ikke føre til skader på byggverket.»

Tabell 7: Preaksepterte ytelser tilknyttet nedbør i byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Preaksepterte ytelser
Nedbør (§ 13-12)	«Taket må utføres slik at regn- og smeltevann ikke trenger inn i konstruksjonen.»
	«Taket må utføres med tilstrekkelig stort fall til at det ikke oppstår vanndammer på tekningen. Det aksepteres mindre dammer som dannes på grunn av skjøting i tekningen, eller som skyldes mindre ujevnheter i underlaget innenfor fastsatte toleransegrenser for det aktuelle produktet.»
	«Tak med asfalt takbelegg og takfolier må ha helning minimum 1:40.»
	«Vann som renner av taket, må ledes bort fra bygningskonstruksjonen ved hjelp av nedløpssystem eller på annen måte, slik at byggverket og tilliggende terreng ikke får skader.»
	«Taket må utformes slik at snøsmelting ikke gir skadelig ising.»
	«På tak uten lufting (kompakte tak) må smeltevann ledes fra kaldere til varmere deler av taket, og dreneres bort i nedløp som er frostfritt uten bruk av varmekabler.»
	«Taktekning må ha tilstrekkelige oppkanter mot tilliggende konstruksjoner for å unngå lekkasjer, for eksempel ved dørterskler.»
	«Taket må utføres slik at vann kan renne av uten å trenge inn i konstruksjoner, selv om sluk eller nedløp blokkeres.»

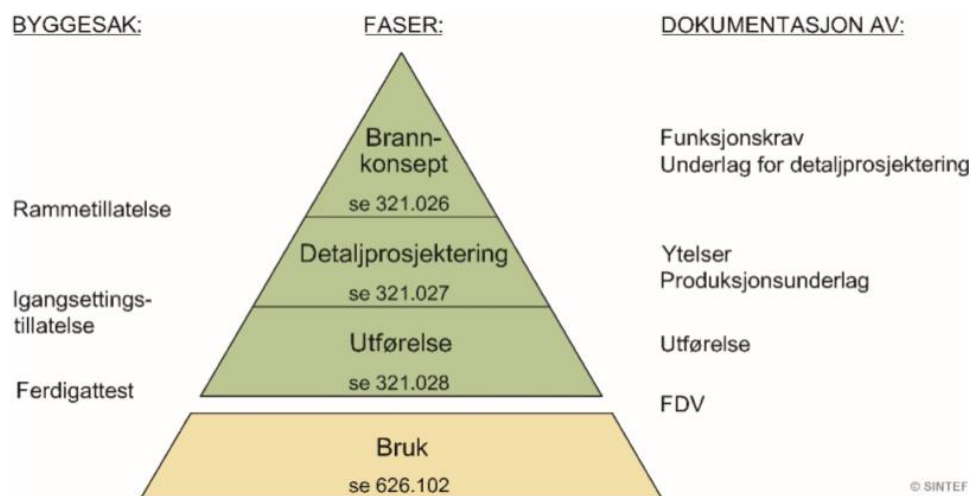
6.3.3. Energi og lufttetthet

Tabell 8: Oversikt over energikrav i byggeteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav										
Energi (§ 14-1)	«Bygninger skal prosjekteres og utføres slik at det tilrettelegges for forsvarlig energibruk.»										
	«Energikravene gjelder for bygningens oppvarmede bruksareal (BRA).»										
	«U-verdier skal beregnes som gjennomsnitt for de ulike bygningsdelene.»										
	«For bygning eller del av en bygning som skal holde lav innetemperatur, gjelder ikke energikravene dersom energibehovet holdes på et forsvarlig nivå.»										
	«Dersom kravene i dette kapitlet ikke kan forenes med bevaring av kulturminner og antikvariske verdier, gjelder kravene så langt de passer.»										
Energi-effektivitet (§ 14-2)	For kontorbygninger: Totalt netto energibehov skal ikke overstige 115 kWh/m ² oppvarmet BRA per år.										
	«I flerfunksjonsbygninger skal bygningen deles opp i soner ut fra bygningskategori og de respektive energirammene skal oppfylles for hver sone.»										
	«For yrkesbygning skal det beregnes et energibudsjett med reelle verdier for den konkrete bygningen. Denne beregningen kommer i tillegg til kontrollberegningen med normerte verdier.»										
	«Beregningene av bygningers energibehov og varmetapstall skal utføres i samsvar med Norsk Standard NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data.»										
Minimumsnivå energi-effektivitet (§ 14-3)	«Følgende minimumsnivå skal alltid være oppfylt:» <table border="1" data-bbox="479 1150 1404 1339"> <thead> <tr> <th>U-verdi yttervegg [W/(m² K)]</th> <th>U-verdi tak [W/(m² K)]</th> <th>U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m² K)]</th> <th>U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m² K)]</th> <th>Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 0,22</td> <td>≤ 0,18</td> <td>≤ 0,18</td> <td>≤ 1,2</td> <td>≤ 1,5</td> </tr> </tbody> </table>	U-verdi yttervegg [W/(m ² K)]	U-verdi tak [W/(m ² K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m ² K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m ² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)	≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5
U-verdi yttervegg [W/(m ² K)]	U-verdi tak [W/(m ² K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m ² K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m ² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)							
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5							
	Rør, utstyr og kanaler som er knyttet til bygningens varmesystem skal isoleres. Isolasjonstykkelsen skal være økonomisk optimal beregnet etter norsk standard eller en likeverdig europeisk standard.										
Energiforsyning (§ 14-4)	«Det er ikke tillatt å installere varmeinstallasjon for fossilt brensel.»										
	«Bygning med over 1 000 m ² oppvarmet BRA skal a) ha energifleksible varmesystemer som dekker minimum 60 prosent av normert netto varmebehov beregnet etter Norsk Standard NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data, og b) tilrettelegges for bruk av lavtemperatur varmeløsninger, og c) ha felles varmesentral.»										
	«Rammekravet for energieffektivitet i § 14-2 første ledd kan økes med inntil 10 kWh/m ² oppvarmet BRA per år. Dette forutsetter at det på eiendommen produseres fornybar elektrisitet til bygningen, minst 20 kWh/m ² oppvarmet BRA per år.»										

6.3.4. Brann

Brannteknisk prosjektering av bygninger kan gjennomføres forenklet eller analytisk. Ved forenklet prosjektering følges preaksepterte løsninger, mens det ved analytisk prosjektering foretas analyser som dokumenterer at bygningen tilfredsstillere kravene. Visse premisser som ligger til grunn for prosjekteringen skal dokumenteres. Dette inkluderer byggets tiltenkte bruk, antall personer det dimensjoneres for, antall etasjer og arealberegning, brannenergi, avstand til nabobygninger, tilrettelegging for brannvesen og aktuelle lokale bestemmelser [91]. At byggverk tilfredsstillere krav gitt i byggt teknisk forskrift (TEK17) dokumenteres i tre faser, illustrert i Figur 46 [92].



Figur 46: Dokumentasjonsfaser brannsikkerhet. Hentet fra: Takprodusentenes Forskningsgruppe. [92]

Tabell 9: Oversikt over brannkrav i byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav
Sikkerhet ved brann (§ 11-1)	«Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann for personer som oppholder seg i eller på byggverket, for materielle verdier og for miljø- og samfunnsmessige forhold.»
	«Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for brannspredning til andre byggverk blir liten.»
	«Byggverk der brann kan utgjøre stor fare for miljøet eller berøre andre vesentlige samfunnsinteresser, skal prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for skade på miljøet eller andre vesentlige samfunnsinteresser blir liten.»
Bæreevne og stabilitet (§ 11-4)	«Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at byggverket som helhet, og de enkelte delene av byggverket, har tilfredsstillende sikkerhet med hensyn til bæreevne og stabilitet.»
	«Ved dimensjonering for tilfredsstillende bæreevne og stabilitet ved brann skal det medregnes termisk påkjenning fra den brannenergien og det brannforløpet som kan forventes i byggverket.»
Brannspredning mellom bygg (§ 11-6)	«Brannspredning mellom byggverk skal forebygges slik at a) sikkerheten for personer og husdyr ivaretas b) brann ikke kan føre til urimelige store økonomiske tap eller samfunnsmessige konsekvenser.»
	«Høye byggverk skal ha minimum 8,0 m avstand til annet byggverk, med mindre byggverket er utført slik at spredning av brann hindres gjennom et fullstendig brannforløp.»
Brannseksjoner (§ 11-7)	«Byggverk skal deles opp i brannseksjoner for å a) sikre liv og helse der rømning og redning kan ta lang tid b) hindre urimelig store økonomiske eller materielle tap c) bidra til at en brann, med påregnelig slukkeinnsats, begrenses til den brannseksjonen der den startet.»
Brannceller (§ 11-8)	«Brannceller skal være utført slik at de forhindrer spredning av brann og branngass er til andre brannceller i den tiden som er nødvendig for rømning og redning.»
Materialer og produkter (§ 11-9)	«Materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på muligheten for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.»

Tabell 10: Preaksepterte løsninger tilknyttet brann i byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Preaksepterte ytelser
Bæreevne og stabilitet (§ 11-4)	Brannmotstanden til bærende bygningsdeler må samsvare med Tabell 14.
	For konstruksjonsdeler som etter Tabell 14 «må ha brannmotstand R 90 eller høyere, må det brukes en dimensjonerende brannenergi der karakteristisk brannenergi multipliseres med faktoren 1,5. Faktoren på 1,5 samsvarer med overgangen fra brannmotstand R 60 til R 90 ved bruk av preaksepterte ytelser.»
Brannspredning mellom bygg (§ 11-6)	«Når avstanden mellom byggverk med gesims- eller mønehøyde over 9,0 meter er mindre enn 8,0 meter, må byggverkene skilles med brannvegg.»
	«Takkonstruksjonen må ikke være kontinuerlig over brannveggen på en slik måte at en kollaps på den ene siden medfører reduksjon av konstruksjonens bæreevne og brannmotstand på den andre siden.»
Materialer og produkter (§ 11-9)	«Taktekning må tilfredsstillе klasse BROOF(t2) [Ta].»
	«Ett-sjiktet tak av duk og folie må tilfredsstillе klasse B-s3,d0 (Ut1).»

§ 11-2. Risikoklasser

Inndeling i risikoklasser er basert på byggets bruk og er vist i Tabell 11 [93].

Tabell 11: Kategorisering av risikoklasser. Hentet fra byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Risikoklasser	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare
1	ja	ja	nei	ja
2	ja/nei	ja	nei	nei
3	nei	ja	nei	ja
4	nei	ja	ja	ja
5	nei	nei	nei	ja
6	nei	nei	ja	ja

§ 11-3. Brannklasser

Bygninger deles inn i brannklasser basert på hvor stor konsekvens en brann kan medføre. Brannprosjekteringen skal ta utgangspunkt i hvilken brannklasse prosjektet har. Tabell 13 viser vurdert konsekvens for de ulike klassene. Krav til brannmotstand for bærende bygningsdeler for de ulike brannklassene er angitt i Tabell 14 [94].

Tabell 12: Kategorisering av brannklasser basert på risikoklasser og antall etasjer. Hentet fra byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Tabell 13: Konsekvenser for ulike brannklasser. Hentet fra byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Brannklasse	Konsekvens
1	Liten
2	Middels
3	Stor
4	Særlig stor

Tabell 14: Krav til brannmotstand for bærende bygningsdeler basert på brannklasser. Hentet fra byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Bygningsdel	Brannklasse		
	1	2	3
Bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2-s1,d0 [A 60]
Trappeløp	-	R 30 [B 30]	R 30 A2-s1,d0 [A 30]
Bærende bygningsdeler under øverste kjeller	R 60 A2-s1,d0 [A 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]	R 120 A2-s1,d0 [A 120]
Utvendig trappeløp, beskyttet mot flammepåvirkning og strålevarme	-	R 30 [B 30] eller A2-s1,d0 [ubrennbart]	A2-s1,d0 [ubrennbart]

6.3.5. Termisk inneklime

Tabell 15: Krav og anbefalinger for termisk inneklime i byggt teknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav/Anbefalinger								
Termisk inneklime (§ 13-4)	«Termisk inneklime i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensynet til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk.»								
	«Det anbefales at lufttemperaturen så langt mulig holdes under 22 °C når det er oppvarmingsbehov.»								
	«Anbefalte verdier for operativ temperatur (samlet virkning av lufttemperatur og termisk stråling)»: <table border="1" data-bbox="495 1581 1292 1688"> <thead> <tr> <th>Aktivitetsgruppe</th> <th>Lett arbeid</th> <th>Middels arbeid</th> <th>Tungt arbeid</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatur °C</td> <td>19-26</td> <td>16-26</td> <td>10-26</td> </tr> </tbody> </table>	Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid	Temperatur °C	19-26	16-26	10-26
Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid						
Temperatur °C	19-26	16-26	10-26						
	«I rom for varig opphold skal minst ett vindu eller én dør kunne åpnes mot det fri og til uteluft.»								
	«Annet ledd gjelder ikke for rom i arbeids- og publikumsbygg der åpningsbare vinduer er uønsket ut fra bruken.»								

6.3.6. Lys og lyd

Tabell 16: Oversikt over krav for lyd og vibrasjoner i byggteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav
Lyd og vibrasjoner (§ 13-6)	«Lydforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek. Krav til lydforhold gjelder ut fra forutsatt bruk, og kan oppfylles ved å tilfredsstillende lydklasse C i Norsk Standard NS 8175:2012 Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper.»
	«Vibrasjonsforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek.»
	«I byggverk for publikum og arbeidsbygning skal det være lyd- og taleoverføringsutstyr, med mindre det kan dokumenteres at dette er unødvendig for å oppnå god taleforståelse. Inngangen til rom med forsterket lyd- og taleoverføring skal være tydelig merket.»

Tabell 17: Preaksepterte ytelser for lyd og vibrasjoner i byggteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Preaksepterte ytelser
Lyd og vibrasjoner (§ 13-6)	«For byggverk og brukerområder som ikke dekkes av NS 8175:2012, kan grenseverdier velges fra tabeller med bygningstyper eller brukerområder som er sammenlignbare ut fra funksjon.»
	«Bygningstekniske installasjoner må prosjekteres, utføres og plasseres slik at de ikke bidrar til å sette bygningskonstruksjoner i svingninger som kan føre til plagsom strukturlyd eller vibrasjoner (rystelser).»
	«Dersom det ikke installeres lyd- og taleoverføringsutstyr som angitt i NS 8175:2012, må det dokumenteres at god taleforståelse er ivaretatt over kort og lang avstand.»

Tabell 18: Oversikt over krav for lys i byggteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Krav
Lys (§ 13-7)	«Byggverk skal ha tilfredsstillende tilgang på lys.»
	«Rom for varig opphold skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys.»
	«Annet ledd gjelder ikke for rom i arbeidsbygning og byggverk for publikum der den forutsatte bruken tilsier noe annet.»

Tabell 19: Preaksepterte ytelser for lys i byggteknisk forskrift (TEK17). [90]

Tema	Preaksepterte ytelser
Lys (§ 13-7)	«1. Krav til dagslys kan oppfylles slik: a. Gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet må være minimum 2,0 %. Samsvar dokumenteres med beregninger av mest kritiske rom i forhold til dagslysforhold. Beregninger utføres med simuleringsverktøy validert etter CIE 171:2006 og forutsetninger gitt i NS-EN 12464-1:2011 kapittel 4.4.»

6.4. Vurderinger og forslag til løsninger

Det er utarbeidet forslag til løsninger og prinsipper for oppbygning av Teknostallens takkonstruksjon som tilfredsstillende kravene i byggeteknisk forskrift.

6.4.1. Kompakt takkonstruksjon

Taket på Teknostallen skal tåle moderat trafikk og bør derfor ha et slitelag øverst, samtidig som isolasjonen i det øvre isolasjonslaget bør være trykkfast. Ved å konstruere taket som et duotak med damptett sperresjikt både i overkant av det bærende betongdekket og mellom isolasjonslagene økes fuktsikringen i taket ved at flere sjikt benyttes som fuktsperrer. På denne måten ligger takmembranen tildekt slik at risikoen for skader på denne reduseres. Samtidig er det viktig å sørge for at membranen ikke perforeres under byggefasen, og at den kontrolleres før den bygges inn av andre materialer.

6.4.2. Isolasjon og takteking

Krav til U-verdi for tak er angitt i Tabell 8. Minstekravet er $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Krav til isolasjonstykkelse for å oppnå dette kravet er avhengig av hvilke andre materialer som benyttes i oppbygningen. Dersom bærelaget består av singel kan det for eksempel benyttes 200 mm isolasjon med konduktivitet $0,039 \text{ W}/(\text{mK})$ [6]. For områder med blågrønt tak påvirker vekstmedium og vegetasjonslag U-verdien og bør tas hensyn til ved beregninger.

Det bør benyttes isolasjon med lavt fuktopptak på oversiden av takmembranen [6]. Isolasjon som trekker til seg mye fukt vil ha dårligere varmeisolerende egenskaper og resultere i redusert energieffektivitet. XPS, EPS og PIR er eksempler på isolasjonstyper som kan brukes. Med tanke på trafikk på taket er det nødvendig at isolasjonen har tilstrekkelig trykkfasthet. Dette kan oppnås ved å bruke XPS. Både EPS og XPS er plastbaserte materialer med lav brannmotstand, mens PIR har høy brannmotstand. Der kravene tilsier at isolasjonen må ha høyere brannmotstand kan det benyttes mineralull. Glassull er ikke et hensiktsmessig alternativ i sjikt utsatt for fukt [95].

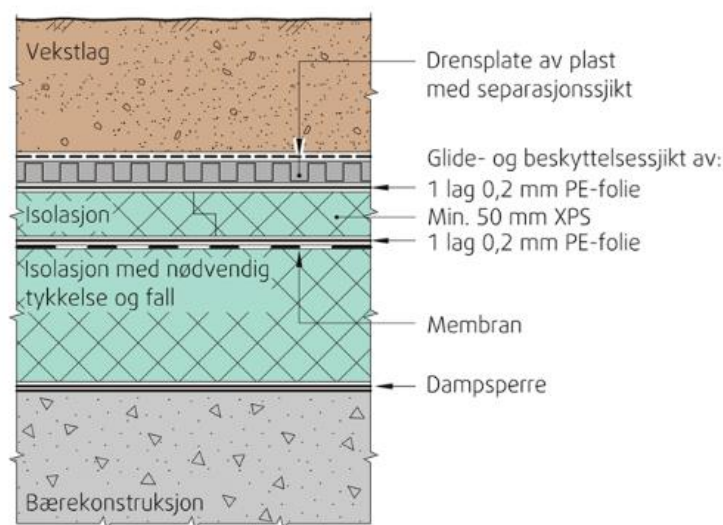
Taktekkingen som benyttes må være tilstrekkelig damptett og tåle de mekaniske påkjenningene den utsettes for. Asfaltbelegg er et rimelig alternativ som er effektivt å legge og har lang levetid. For ytterligere fuktsikring kan asfaltmembranen legges dobbelt, med forskjøvet skjøter. Sveising av skjøter bør gjennomføres på en nøyaktig måte. Ved parapet føres takmembranen opp over beslag på parapet og festes på øvre utside.

6.4.3. Avrenning

Det er anbefalt å ha fall på minimum 1:40 på takets overflater, men redusert fall kan benyttes dersom tekkingen er spesielt fuktsikker. For å sikre hensiktsmessig avrenning mot renner og sluk bør isolasjon tilpasses slik at vannførende overflater leder mot sluk. Med tanke på frostproblemer er det sikrest å benytte innvendig nedløp. Ved å plassere lokale forsenkninger på 20 – 50 mm ved sluk reduseres faren for frostskafer. Det bør unngås at gjennomføringer plasseres i lavbrekk. Det mest strategiske er at de plasseres i høybrekk, slik at de er mindre utsatt for fuktpåkjenning fra stående vann på taket. Nødoverløp bør plasseres lavt men minimum 30-50 mm over sluk. Dersom det plasseres lavere risikerer det jevnlig drypping mot byggets fasade [6].

6.4.4. Blågrønt tak

Ved prosjekteringen av arealer som skal anlegges med grønt dekke og en fordrøyende effekt på overvann bør det tidlig avklares hvilke egenskaper som skal prioriteres. Dersom det er ønskelig med hageområder med trær og større busker gir dette større krav til oppbygning og vedlikehold enn hvis enkle ekstensive tak anlegges. Figur 47 viser et eksempel på oppbygning av blågrønt tak som kan benyttes på Teknostallen. Nedenfor vekstlaget kan både plastbaserte drenslag eller steinbaserte materialer som singel og grus fungere som drenerende sjikt. For å unngå at jord fra vekstmediet tetter drenslaget nedenfor bør det installeres et separasjonssjikt.

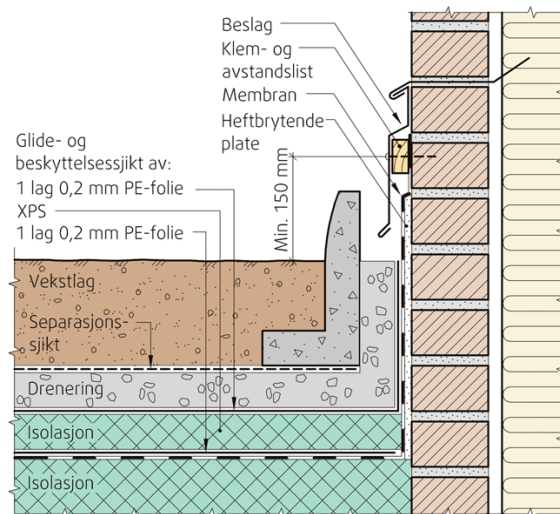


Figur 47: Eksempel på oppbygning av blågrønt tak.
Hentet fra: Byggforskserien 525.306 Terrasser med beplantning på bærende betongdekker. [40]

Et beskyttende lag over takmembranen kan bestå av en folie av polyetylen og minimum 50 mm XPS [40]. Det må monteres en rotsperre som forhindrer røtter i å skade underliggende konstruksjon. Krav til rotmotstand er avhengig av valgt vegetasjon. Rotsperren kan være en membran som legges i tillegg til takmembran, alternativt kan takmembran med tilstrekkelig rotmotstand benyttes. Isolasjonen tilpasses for å gi fall mot renner og sluk.

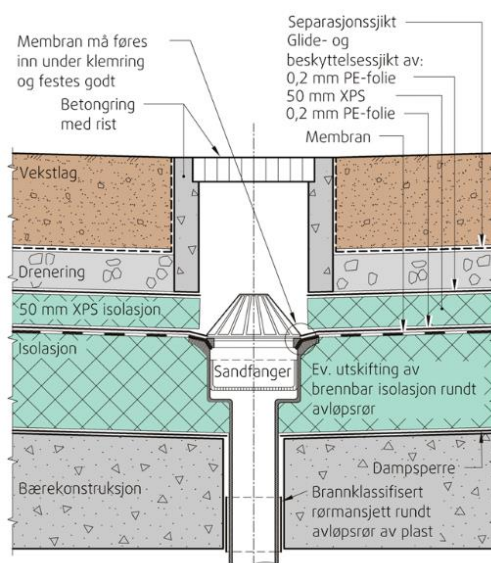
Vanning er ofte nødvendig for å unngå vegetasjonsskader på grunn av tørke. Vanningsanlegg kan bestå av rørsystem som tilfører vann direkte i vekstjorden via dryppvanning eller spredere som tilfører vann ovenfra. Vanningssystem bør planlegges tidlig for å koordinere valgt oppbygning av lagene i konstruksjonen. For å unngå frost bør rørene tømmes for vann før kalde perioder.

Ved overgang mellom tak og fasade bør takmembran monteres minimum 150 mm over vekstmediet og festes bak vindsperre eller eventuelt beslag [40]. Dette sørger for vanntett overflate i tilfelle det oppstår ansamling av vann inntil parapet eller tilstøtende fasade. Figur 48 viser et eksempel på hvordan overgang mellom tak med grønn vegetasjon og fasade kan løses. Beslag på parapet bør ha fall på 1:5 og toppen av parapet bør være minimum 300 mm over ferdig takoverflate [96].



Figur 48: Eksempel på overgang mellom grønt dekke og fasade.
Hentet fra: Byggforskserien 525.306 Terrasser med beplantning på bærende betongdekker. [40]

Rundt for eksempel overlyselementer og ventilasjonskanaler, er det strategisk å bruke singel eller andre drenerende masser inntil gjennomføringene. På denne måten reduseres fuktbelastningen mot membranen. Figur 49 viser eksempel på utforming av sluk. Det er hensiktsmessig å plassere en forhøyingsring over sluket. Dette kan for eksempel være en ring av betong med fiberduk. For å kunne rense sluket bør forhøyingsringen ha stor nok åpning [40].



Figur 49: Eksempel på utforming av sluk. Hentet fra: Byggforskserien 525.306 Terrasser med beplantning på bærende betongdekker. [40]

6.4.5. Løpebane og treningsapparater

Nødvendig avrenning bør utføres ved at toppdekket og underliggende membran har fall mot renner og sluk. Løping på taket medfører belastninger som gir vibrasjoner i underliggende konstruksjon som kan resultere i støy i kontorarealene i øverste etasje. For å redusere dette bør det under løpebanen integreres et dempende sjikt av elastisk materiale som gir trinnlydisolerende effekt. Dette kan for eksempel være polyuretan [97].

Det bør sørges for grundig tetting rundt innfesting av treningsapparater. Dette for å unngå kuldebroer på grunn utettheter som krysser isolasjonssjiktet, samtidig som manglende tetting medfører fare for at vann føres forbi takmembranen slik at fukt samles opp i konstruksjonen. Det må samtidig benyttes tilstrekkelig trykkfaste materialer under apparatene. Ved å anlegge et betongfundament som apparatene monteres i kan belastningen fordeles over et større areal slik at punktbelastninger som skader underliggende XPS unngås.

6.4.6. Glasstak

Ved prosjektering av glasstak over atrium må det sørges for at konstruksjonen tåler snømengden som kan samles opp på taket. I denne sammenhengen er det hensiktsmessig å vurdere hvordan innvendig klima i takhagen påvirker snøsmeltingen på taket. Dette er avhengig av valgt oppbygning av systemløsningen, som bestilles av ekstern produsent. Avrenning fra nedbør og smeltevann må ledes med tilstrekkelig fall mot renner og sluk. Ved at inneluft varmer opp nedløpsrør, renner og sluk kan risikoen for frostproblemer tilknyttet drenering reduseres.

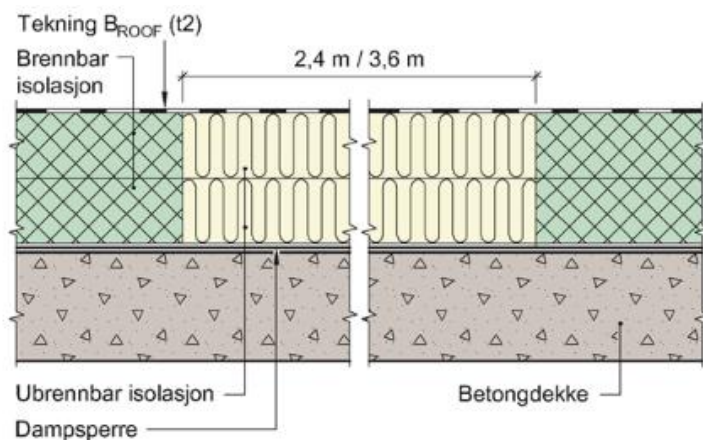
6.4.7. Brann

På bakgrunn av kriteriene angitt i Tabell 11 kan Teknostallens riskoklasser kategoriseres. Deler av bygningen skal benyttes til restaurantvirksomhet og det vil være personer som oppholder seg i dette området som ikke kjenner rømningsforhold. Derfor kan dette arealet kategoriseres som risikoklasse 5. For de resterende arealene som hovedsakelig består av kontorlokaler kategoriseres bygget som risikoklasse 2, i henhold til veiledning til TEK17 [93]. Ved å følge inndelingen i Tabell 12 kan brannklasse vurderes. Teknostallen skal bestå av 6 etasjer i tillegg til kjeller, som resulterer i brannklasse 3. Dette representerer stor konsekvens ved en brann, i henhold til Tabell 13. Brannklasse 3 medfører at gjeldende krav til brannmotstand for bærende materialer i denne klassen må følges, som vist i Tabell 14.

Røykventilasjon kan sikres gjennom røykluker i taket. Disse kan benyttes som ventilasjonsluker når det er behov for kjøling av bygget. På grunn av oppvarming gjennom glasstaket vil det spesielt i atriets være aktuelt å benytte røyklukene til nedkjøling.

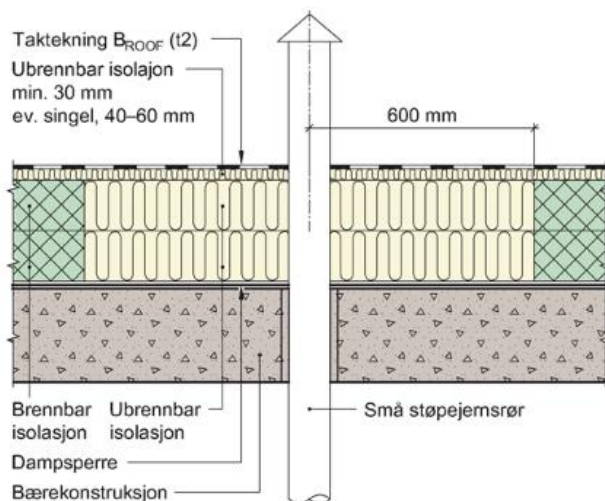
Siden taket skal benyttes som oppholdsareal er det nødvendig med forskriftsmessige utganger for evakuering. Det bør legges til rette for at oppsamling av snø foran nødutganger unngås [98]. Dette kan i en nødssituasjon være kritisk for sikker rømning. Valgt løsning kan innebære takoverbygg foran utganger, eller eventuelt smelting av snø gjennom bruk av redusert isolasjonstykkelse under området foran utgang. Dersom det vurderes at snørydding er tilstrekkelig må det sikres at dette prioriteres jevnlig. Tydelige merkinger av nødutganger fra taket må plasseres oversiktlig slik at personer som oppholder seg der lett kan finne nødutganger, også når det er mørkt ute. Taktekkingen som brukes må ha klasse $B_{ROOF}(t_2)$ [98]. Dette på bakgrunn av at det er en viss risiko for spredning av brann siden Teknostallen er plassert i et tett bebygd område.

Når brennbar isolasjon brukes skal denne enten avskilles i arealer på maks 400 m² eller dekkes av ubrennbare materialer [99]. Ulike løsninger kan brukes på deler av taket. Et aktuelt tiltak er å opprette felt med ubrennbar isolasjon, illustrert i Figur 50. Krav til bredden på feltet er avhengig av gjennomsnittlig isolasjonstykkelse. Dersom gjennomsnittlig tykkelse er større enn 300 mm må bredden være minimum 3,6 m. For andre tilfeller kan feltet være 2,4 m bredt [6].



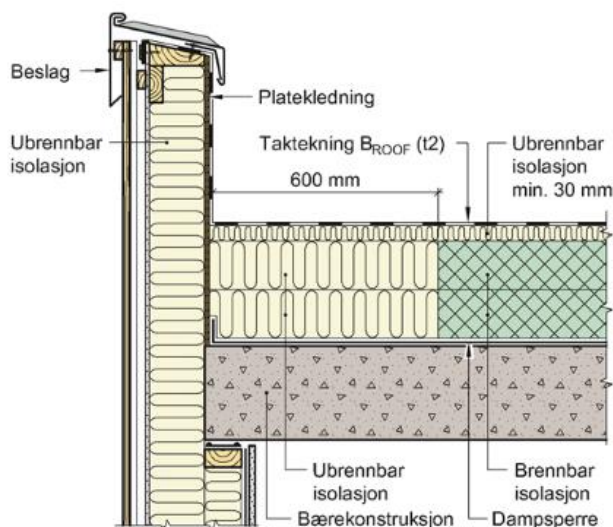
Figur 50: Oppdeling av brennbar isolasjon med felt av ubrennbar isolasjon.
Hentet fra: Byggforskserien 525.207 Kompakte tak. [6]

Risiko for brann ved gjennomføringer av rør i taket kan reduseres ved å montere ubrennbar isolasjon med avstand 600 mm fra midt i røret, på begge sider [6]. Dette er illustrert i Figur 51.



Figur 51: Rørgjennomføring i kompakt tak med felt av ubrennbar isolasjon.
Hentet fra: Byggforskserien 525.207 Kompakte tak. [6]

Enkelte områder på taket er spesielt utsatt i forbindelse med brann. Dette inkluderer overgang mellom brennbar isolasjon og parapet. Dersom yttervegg eller parapet er oppbygd av brennbare materialer bør brennbar isolasjon adskilles fra parapet med et 600 mm bredt felt med ubrennbar isolasjon [6]. Figur 52 viser mulig løsning.



Figur 52: Overgang mellom kompakt tak og parapet med ubrennbar isolasjon.
Hentet fra: Byggforskserien 525.207 Kompakte tak. [6]

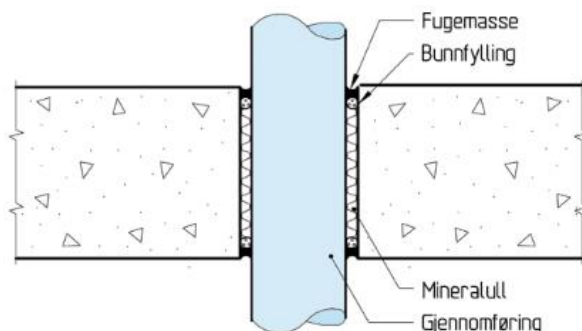
6.4.8. Akustikk og lys

Glasstakene i bygget gjør det mulig å innfri krav til dagslys for rommene i bygningen.

Beregninger som kontrollerer at oppholdsareal har dagslysfaktor på 2 % bør gjennomføres. Åpne planløsninger gjør det enklere å oppnå nok dagslys, mens inndeling i små rom gjør det mer krevende. Ved å bruke overlyselement legges det til rette for at rom som ikke mottar lys via glasstakene eller vinduer i fasade oppnår kravet til dagslys.

Flere tiltak kan bidra til at taket på Teknostallen ivaretar gode lydforhold. Arealene med grønt tak bidrar med lyddempende effekt for rommene i bygget samt for uteområdene, gjennom reduksjon av lydtransmisjon og økt lydabsorpsjon. På bakgrunn av dette er det i et akustisk perspektiv gunstig å benytte grønt dekke på store deler av taket. Betongdekker som bærende konstruksjon i taket gir et sjikt med tyngde som reduserer vibrasjonsoverføringer på tvers av taket, slik at lydoverføringen reduseres. For å ytterligere redusere lydoverføringen kan det monteres en vibrasjonsdempende lydhimling.

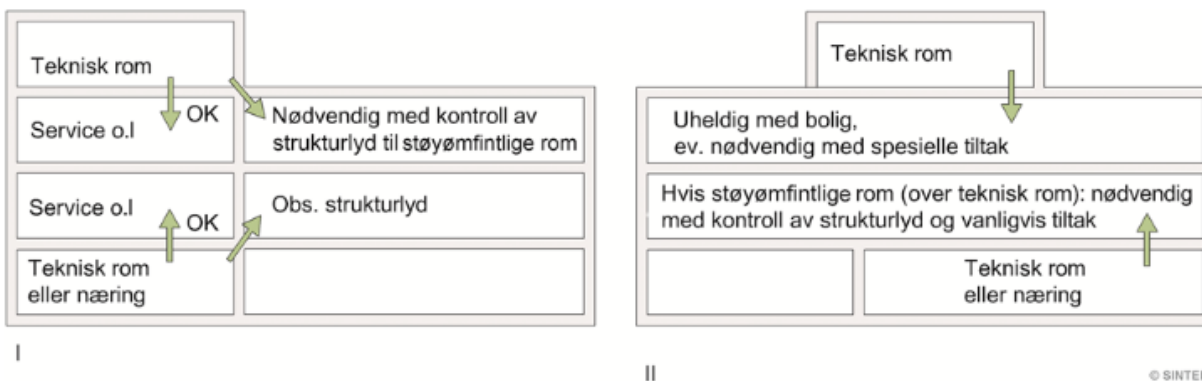
Gjennomføringer bør lydisoleres. Figur 53 viser mulig løsning. Dette kan gjøres ved å dytte mineralull mellom rør og betongdekke, med elastisk fugemasse og bunnfyllingslist både på oversiden og undersiden [100].



Figur 53: Eksempel på hvordan gjennomføringer kan utføres.
Hentet fra: Byggforsk 421.431 Lydisolering av gjennomføringer. [100]

Siden tekniske installasjoner bidrar til økt støynivå bør de plasseres strategisk.

Figur 54 illustrerer hvordan plassering av tekniske installasjoner påvirker støyforholdene i omkringliggende rom. Aggregater og annet støyende teknisk utstyr bør ikke plasseres over rom med høye krav til støydemping [101]. På Teknostallen bør plasseringen koordineres med arealbruken i øverste etasje, slik at kontorarealene har et komfortabelt støynivå.



Figur 54: Eksempler på plassering av tekniske installasjoner. I viser anbefalt løsning mens II viser uheldig løsning.
Hentet fra: Byggforsk 321.015 Planlegging av gode lydforhold i bygninger. [101]

7.0. Teknostallen – Oppbygging av spesifikke dekker

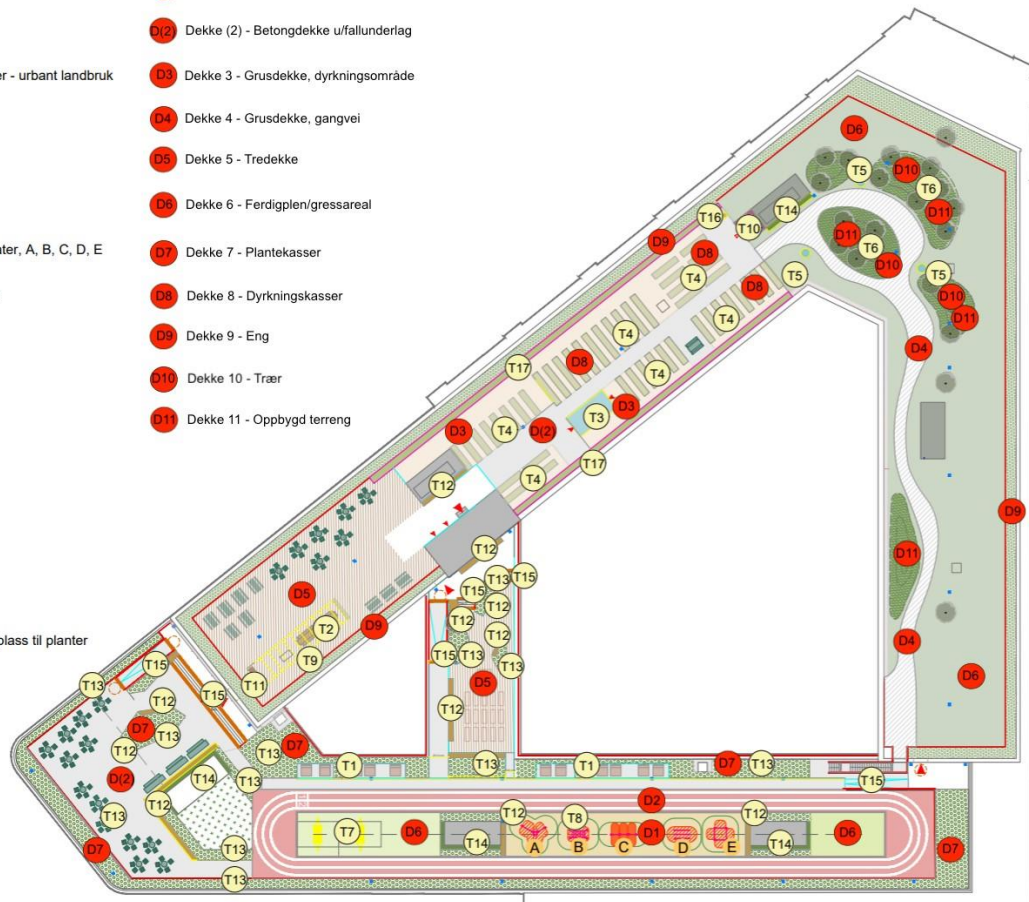
Taket på Teknostallen består av flere ulike type dekker. Blant annet ulike former for blågrønt og kompakte tak. Dette kapittelet gir en oversikt og forklaring over de ulike type dekkene på Teknostallen. Dekkene har unike funksjoner som bidrar til kompleksiteten til Teknostallens takstruktur. For hvert dekke er det ulike krav til oppbygging som må følges i henhold til teknisk byggeforskrift og for å oppnå best mulig resultat.

7.1. Situasjonsplan

Figur 55 er en situasjonsplan over takkonstruksjonen som illustrerer den planlagte utformingen av takområdet.

SYMBOLFORKLARING

- | | | | |
|-----|-----------------------------------|-----|--|
| T1 | Sittebenk - solbenk | D1 | Dekke 1 - Fallunderlag, treningsareal |
| T2 | Langbord og benker | D2 | Dekke 2 - Betongdekke, løpebane |
| T3 | Drivhus | D2 | Dekke (2) - Betongdekke u/fallunderlag |
| T4 | Dyrkningskasser - urbant landbruk | D3 | Dekke 3 - Grusdekke, dyrkningsområde |
| T5 | Fuglebed | D4 | Dekke 4 - Grusdekke, gangvei |
| T6 | Fuglekasser | D5 | Dekke 5 - Tredekke |
| T7 | Hengekøye | D6 | Dekke 6 - Ferdigplen/gressareal |
| T8 | Treningsapparater, A, B, C, D, E | D7 | Dekke 7 - Plantekasser |
| T9 | Pergolastruktur | D8 | Dekke 8 - Dyrkningskasser |
| T10 | Lager | D9 | Dekke 9 - Eng |
| T11 | Kjøkkenbenk | D10 | Dekke 10 - Trær |
| T12 | Benker | D11 | Dekke 11 - Oppbygd terreng |
| T13 | Plantekasser | | |
| T14 | Pergolavegg | | |
| T15 | Håndløper | | |
| T16 | Kompostlager | | |
| T17 | Rekkverk med plass til planter | | |



Figur 55: Situasjonsplan av taket med oversikt over de ulike dekkene. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

7.2. Harde dekker

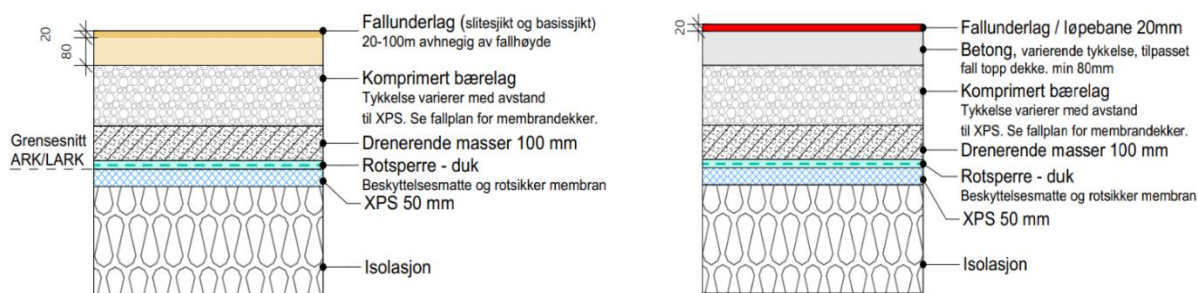
Teknostallen har uteareal på taket hvor det er benyttet harde dekker, som på løpebanen, treningsarealene og takterrassen, se Figur 55. De harde dekkene er bygd som kompakte duotak, hvor isolasjonsmengde, isolasjonstype og toppdekket er det som skiller de ulike detaljene. Følgende oppbygging med forklaring er gjeldende for harde dekker.

Over den bærende hulldekkonstruksjonen legges en dampsperre som midlertidig takteking for å sørge for at underlaget holdes tørt under utførelse og dermed minimere unødvendig byggfukt. Dampsperran som benyttes antas å være asfaltbelegg med god mekanisk styrke. Hulldekket og isolasjonssjiktet skiller av dampsperran som sikrer at fukt fra innside og fra hulldekker ikke trenger inn i isolasjonssjiktet.

En rotsperre legges over isolasjonen som en duk for å hindre penetrering grunnet rot- og gresspredning fra de grønne arealene i nærliggende område. Den fungerer som en beskyttelsesmatte og rotsikker membran. Rotsperren er dermed et godt sikringstiltak mot fuktskader.

7.2.1. Fallunderlag og betongdekke

I dette avsnittet forklares de spesifikke oppbyggingene til de ulike harde dekkene som brukes på treningsarealet, på løpebanen og enkelte steder på takterrassen, se Figur 55. Under forklares likheter og ulikheter samt hvorfor følgende oppbygging er valgt til de representerte dekkene.



Figur 56: Fallunderlag, treningsareal (venstre). Betongdekke, løpebane (høyre). Hentet fra: NCC.

Fallunderlag: Fallunderlag er en gummimatte med egenskaper som er spesifikt rettet mot utendørs trening. Underlaget er mykt og reduserer/minimerer skadeomfanget ved eventuelle fall. Den røe gummioverflaten sørger for godt fotfeste selv om det er vann på overflaten. Fallunderlaget har gode drenerende egenskaper, dermed må det være tilstrekkelig drenering og fall på lagene under.

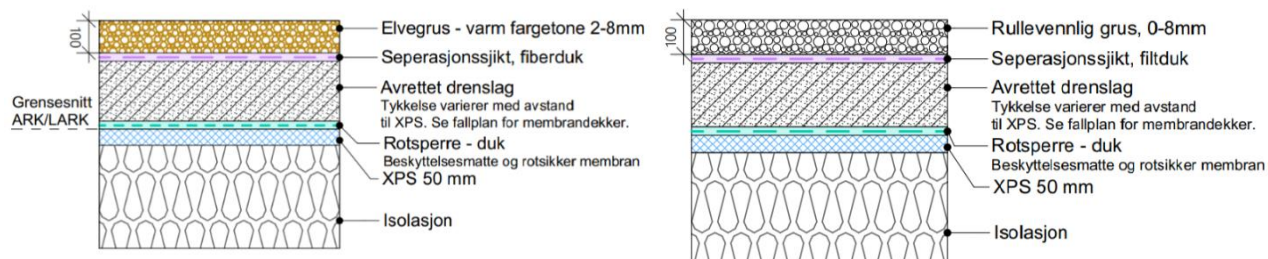
Treningsareal: Dekket til venstre på Figur 56 brukes blant annet på Teknostallens treningsareal i sentrum av løpebanen. Det består av et slitesjikt og basissjikt hvor tykkelsen varierer ut fra fallhøyden. For eksempel er en tykkelse på 30 mm egnet for en fallhøyde på 100 cm [102]. Fallunderlaget som brukes ved treningsarealet gir god falldemping og sørger for sikker bruk rundt treningsapparatene.

Løpebane: Dekket til høyre på Figur 56 brukes på løpebanen, med et fallunderlag på 20 mm over et betonglag på minimum 80 mm. Fallunderlaget på løpebanen har som funksjon å gi brukerne et behagelig og trygt underlag å løpe på ved at det gir god demping og friksjon. Betonglaget gjør løpebanen stabil og har akustiske fordeler ved å hindre lydbølgespredning fra løpesteg. Betongen er ikke drenerende, dermed er det viktig at løpebanen har et horisontalt fall mot senter av løpebanen. Vannet dreneres mot nærliggende nedløp via drenerende masser i dekket på Figur 56. Tilsvarende oppbygging brukes også på andre steder av takterrassen, se situasjonsplan, dekke (2). Her vil øverste komponent være betonglaget.

Komprimert bærelag: Fallunderlaget må være plant og stabilt for å hindre vannansamlinger. Dette sikres ved et komprimert bærelag med helling, enten direkte under fallunderlaget som dekket til venstre på Figur 56, eller under betonglaget som vist på dekket til høyre på Figur 56. Tykkelsen varierer med avstand til XPS. Det komprimerte bærelaget med underliggende drenerende masser bidrar også til at man unngår settkanter rundt betongfundamenter og ytterkanter.

Drenerende masser: Drenerende masser på 100 mm sikrer mot større vannansamlinger og fungerer stabiliserende for fallunderlaget. Det drenerende sjiktet skal lede sigevannet ned til renne og består typisk av drenerende steinmasser, for eksempel finpukk med kornstørrelse på 4-16 mm.

7.2.2. Grusdekke



Figur 57: Grusdekke, dyrkningsområde (venstre). Grusdekke, gangvei (høyre). Hentet fra: NCC.

Figur 57 viser ulike typer grusdekke som er tiltenkt dyrkningsområdene og gangveien på taket. Begge dekkene har tilsvarende oppbygging fra isolasjonssjikt til rotsperreduk som dekkene på løpebanen og treningsarealet.

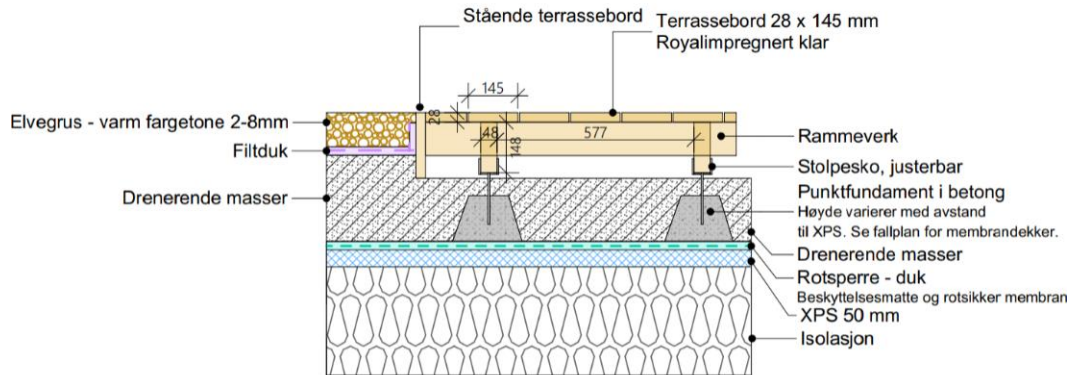
Elvegrus 2-8 mm: I dyrkningsområdet legges et grusdekke med elvegrus, se dekket til venstre på Figur 57. Elvegrus er grus som er avsatt av rennende vann og har avrundet kontur. Her brukes steintypen med kornstørrelse 2-8 mm til å avgrense gangarealer i dyrkningsområdet. Den beholder varme og fuktighet i jord [103]. Den er gunstig for overvannshåndtering.

Rullevennlig grus 0-8 mm: På gangveier brukes en rullevennlig grus. Denne steintypen har en kornstørrelse på 0-8 mm som pakker seg fint og stødig etter den er lagt ut. Grusen har god dreneringsevne og bidrar til å redusere avrenningstiden på taket uten at det oppstår overflatevann.

Fiberduk: Med grus som toppdekke er det nødvendig å legge en fiberduk. En fiberduk fungerer som et separasjonssjikt mellom bærelaget og avrettingslaget. Duken er en viktig komponent som sikrer at fraksjoner fra toppdekket ikke blander seg med dretnslaget. Uten fiberduken kan dretnslaget på denne måten miste sin dreneringsevne. Fiberduken er lystett og UV-bestendig som hindrer at ugress etablerer seg.

Avrettet dretnslag: Et avrettet dretnslag sørger for å lede overvannet og smeltevannet bort fra takkonstruksjonen mot nærliggende sluker på en effektiv måte. Det reduserer og fordrøyer avrenningen ved store nedbørsmengder.

7.2.3. Tredekke

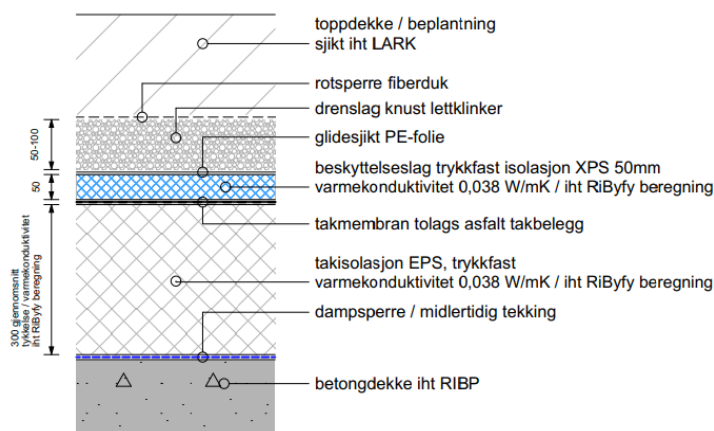


Figur 58: Dekke 5 – Tredekke, takterrasse. Hentet fra: NCC.

Fra venstre på Figur 58 er det illustrert lik oppbygging som dekke 3 (grusdekke dyrkningsområde). Terrassen er støttet opp av punktfundament i betong over rotsperren. Rammeverket er festet til justerbare stolpesko som gir god klaring fra de drenerende massene og har mulighet for å justeres. Dette gjør det enkelt å oppnå horisontalt toppdekke. Treverket er royalimpregnert og krever lite vedlikehold. På grunn av behandlingen oppnår man minimalt med vridning, krymping, svelling og oppsprekking av treverket [104].

7.3. Vegetasjonsfelt

Store områder på Teknostallens tak skal bestå av ulike former for grøntareal. Oppbygningen er relativt lik for de ulike variantene, men tykkelser på enkelte lag varierer ut fra hva slags vegetasjon som skal benyttes.

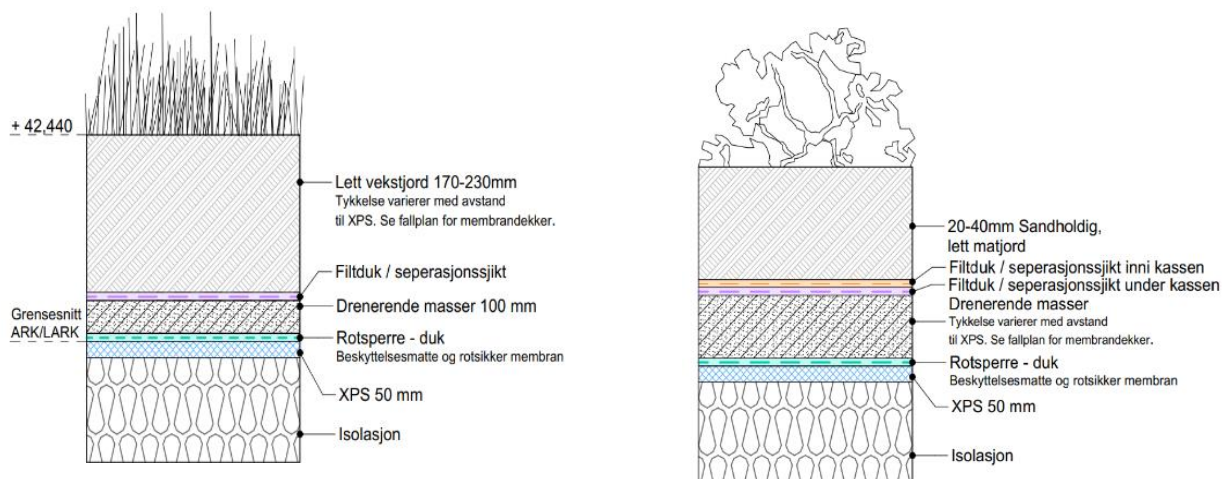


Figur 59: Detalj som viser dekke for områder med vegetasjon. Hentet fra: NCC.

Figur 59 viser hvordan takkonstruksjonen er prosjektert for områdene med vegetasjon. Taket er oppbygd som duotak, med vanntettende membran mellom to lag med isolasjon. Over det bærende dekket av betong monteres det asfaltbelegg som fungerer som dampsperre og sørger for vanntetting gjennom byggeperioden. For å tilfredsstille krav til både trykkfasthet og U-verdier er det valgt å benytte EPS med gjennomsnittlig tykkelse 300 mm og varmekonduktivitet 0,038 W/mK som isolasjon. Siden denne isolasjonen er under takmembranen er kravene til fukttoleranse lavere.

Asfaltbelegg i to lag benyttes som takmembran. Skjøtene bør ikke plasseres over hverandre i de to lagene, for å unngå svake punkt. Sveiser bør kontrolleres nøye siden de ikke er tilgjengelige for undersøkelser etter at de øvre lagene er montert. Et lag med 50 mm XPS er lagt over membranen. På grunn av gode fukttegenskaper og høy trykkfasthet er den egnet til å tåle både den mekaniske belastningen og den fuktutsatte plasseringen. Over laget med XPS er det lagt et glidesjikt av polyetylen for å sørge for at det drenerende laget ikke skader isolasjonen. Et lag med 50 – 100 mm knust lettklinker fungerer som drenerende masser. Mellom vekstmediet og drencmassene legges det en rotsperre. Det bør være dokumentert at rotsperren tåler belastningen av røttene, og den monteres med tette skjøter for å unngå utsatte punkt.

7.3.1. Ferdigplen og dyrkningskasser



Figur 60: Detalj ferdigplen (venstre) og dyrkningskasser (høyre). Hentet fra: NCC.

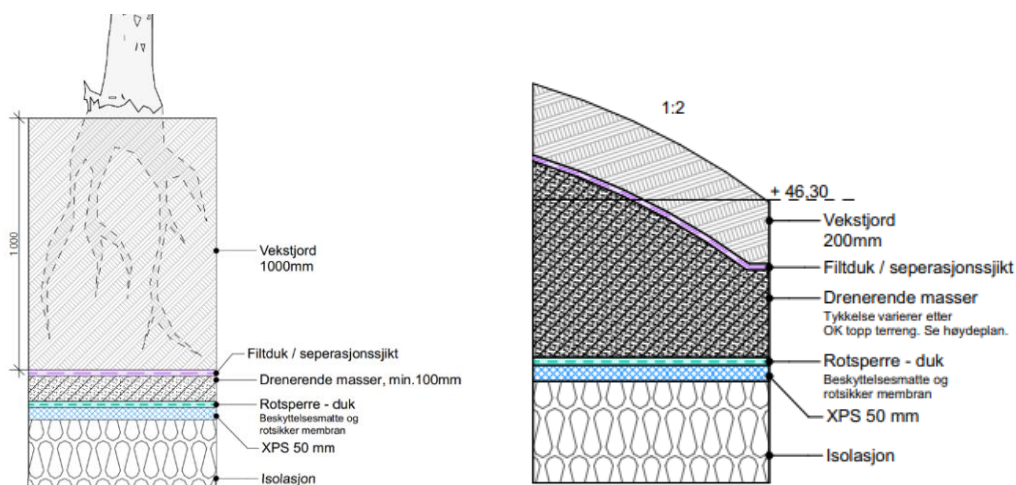
Ferdigplen

Visse områder av Teknostallens tak skal dekkes med plen. Oppbygging er illustrert i Figur 60. Det vil benyttes ferdigplen som tidseffektivt kan ruller ut over takflaten. For å oppnå tilstrekkelig trykkfasthet for trafikk på taket monteres XPS mellom den underliggende isolasjonen av mineralull og takmembranen. Takmembranen sikrer mot fukt. Rotsperre behøver ikke like stor rotmotstand som for intensive tak med trær og busker. Lett vekstjord danner grunnlaget for gressdekket.

Dyrkningskasser

Det skal monteres dyrkningskasser på flere områder av taket. Oppbygging er illustrert i Figur 60. Takkonstruksjonen under disse bygges som duo tak på tilsvarende måte som for plenarealene. Kassene fylles med lett og sandig matjord. Kassene bør lages av materialer som tåler fuktpåkjenningen av å være plassert inntil fuktig jord, samt nedbør. Dette kan løses ved å bruke ikke-organisk materiale. Dersom det brukes treverk, kan man legge en plastbasert folie mellom jorden og kassene for å redusere fuktbelastningen og øke levetiden. Man kan eventuelt også behandle treverket for økt råtemotstand. I bunnen av kassene og under kassene monteres det en duk av filt som sørger for at jord ikke tetter drensaget nedenfor. Materialer som er i kontakt med matjorden bør ikke avgi toksiske stoffer, for å sikre trygge dyrkningsforhold.

7.3.2. Trær og oppbygd terreng



Figur 61: Oppbygning av blågrønt tak med trær (venstre) og oppbygd terreng (høyre).
Hentet fra: NCC.

Trær og oppbygd terreng

Figur 61 viser oppbygging av blågrønt tak med trær og oppbygd terreng. For dekker med trær stilles det større krav til rotmotstand på grunn av kraftigere røtter enn ved ekstensive tak. En beskyttende duk legges over membranen før drenerende masser anlegges. For å unngå at for mye vann oppsamles i den nederste delen av jordlaget, anbefales drenslag med 100 mm tykkelse for trær. En filtduk sørger for at jord ikke blandes inn i drenslaget. Vekten av trærne og det tykke dyrkningsmediet medfører høyere krav til takets bæreevne, noe som bør være hensyntatt ved prosjektering. Vekstjordens tykkelse på 1000 mm er i henhold til minimum veiledende tykkelse. Det kan være nødvendig å forankre trærne, avhengig av trærnes høyde og vindforhold på stedet. Dersom dette er nødvendig er det viktig å sikre nøyaktig tetting rundt gjennomføringer ved forankringen for å unngå vanngjennomtrengning. Feste til armeringsnett i vekstmediet, vaiere og staur i rør er mulige forankringsmetoder [40]. Tykkelsen på drenslaget er avhengig av hvilken helning man ønsker på oppbygningen. Helningen på de drenerende massene og jordlaget bør være slak nok til at materialene ikke sklir ut av ønsket posisjon.

8.0. Teknostallen – Analyse av risikoområder

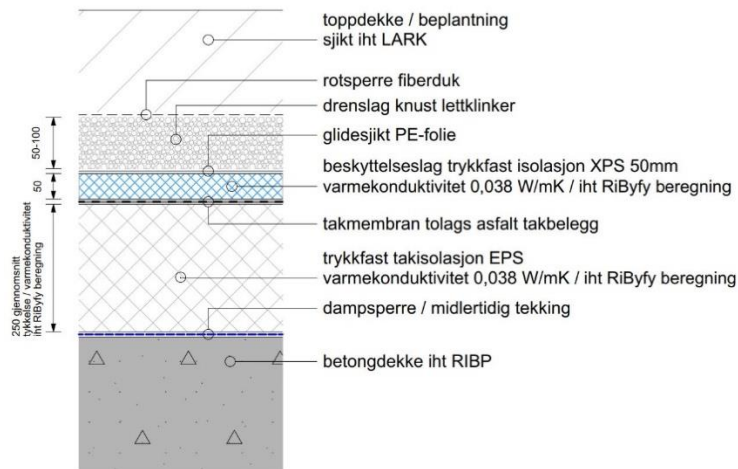
Dette kapittelet presenterer en analyse av identifiserte risikoområder på Teknostallen, med fokus på spesifikke snitt- og detaljtegninger. Utvalgte simuleringer i WUFI og THERM fremlegges med vurdering av resultater, samt takplan for avrenning. Videre markeres viktige tiltak og observasjoner på detaljtegninger fra UV-sluk, gjennomføringer og installasjoner på taket i tillegg til utfordrende overganger. Gjennom denne analysen undersøkes de byggt tekniske løsningene som er valgt, og hvordan det legges til rette for å minimere risiko for fuktskader og andre utfordringer.

8.1. Kompakt tak

Den grunnleggende oppbygningen av taket på Teknostallen er basert på en kompakt konstruksjon, der hulldekker av betong, takmembran og isolasjon er benyttet uten lufting mellom lagene. Derfor er det essensielt for takets robusthet mot skader at denne oppbygningen resulterer i tilfredsstillende fuktforhold.

8.1.1. Simuleringer i WUFI

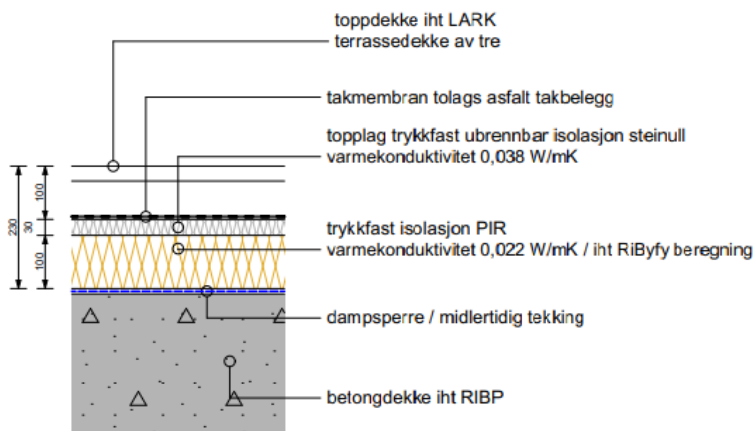
For å undersøke dette er simuleringsprogrammet WUFI benyttet. Det er gjennomført to simuleringer: én for konstruksjon med isolasjon av EPS og XPS og en der isolasjonen består av mineralull og PIR. Oppbygningen av konstruksjonen er noe ulik mellom variantene, vist i Figur 62 og Figur 63. I begge simuleringene er det valgt å forenkle oppbygningen ved å fjerne den blågrønne konstruksjonen. Dette er gjort siden drenerende masser, vekstjord og vegetasjonslag samler opp store mengder fukt ved nedbør, samtidig som avrenningen fra disse lagene er avhengig av fall mot sluk. Det er krevende å simulere hvordan korrekt avrenning tørker ut de fordrøyende materialene i programmet. Ved å fokusere på den underliggende kompakte konstruksjonen kan det likevel innhentes data for å vurdere oppbygningens fuktegenskaper. Simuleringen er basert på en periode på tre år. Utfyllende resultater fra simuleringen er vedlagt i vedlegg 2, vedlegg 3 og vedlegg 4.



TAK-01.300

duotak med XPS beskyttelseslag
gjennomsnittstykkelse 300mm

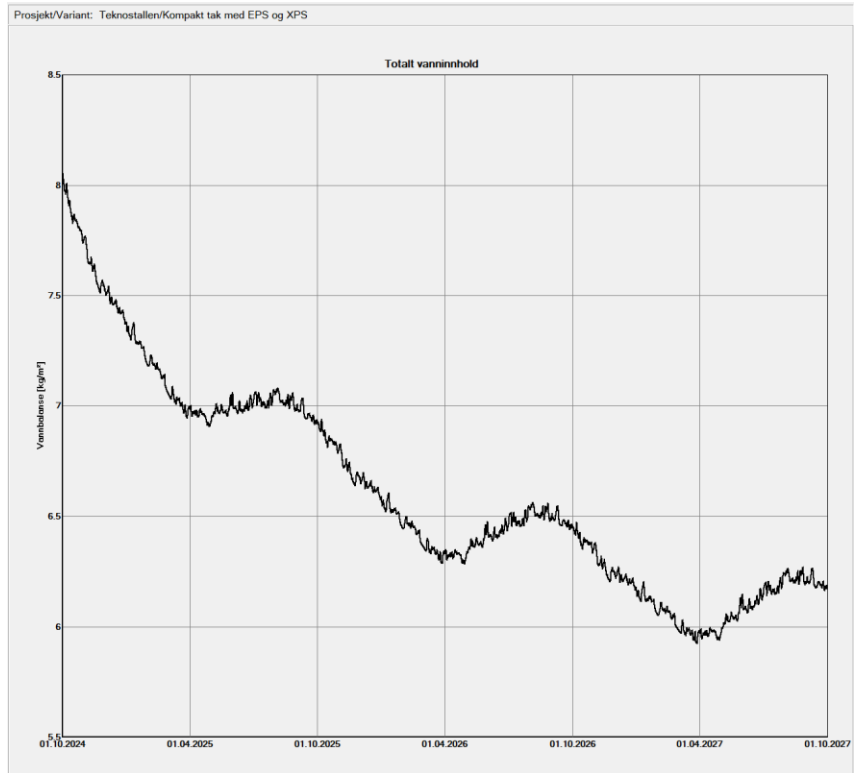
Figur 62: Kompakt tak med EPS og XPS. Brukes som grunnlag for simulering i WUFI. Hentet fra: NCC.



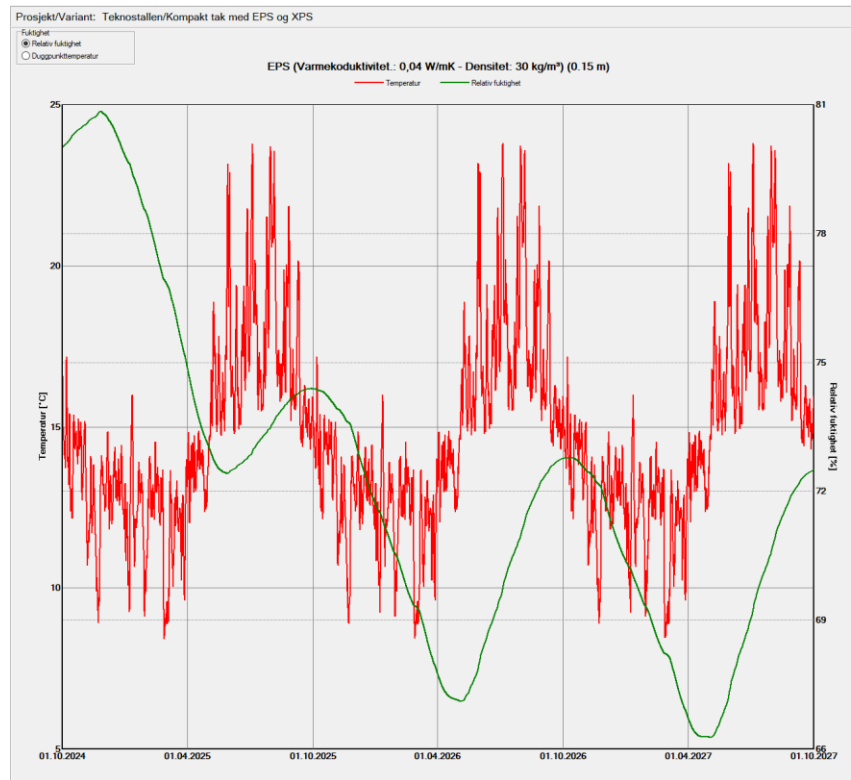
TAK-03.130

taktekking for nedsenket område (begrenset areal)
dørforbindelse til takterrasse med universell utforming
lokalt redusert isolasjonstykkelse og overdekning

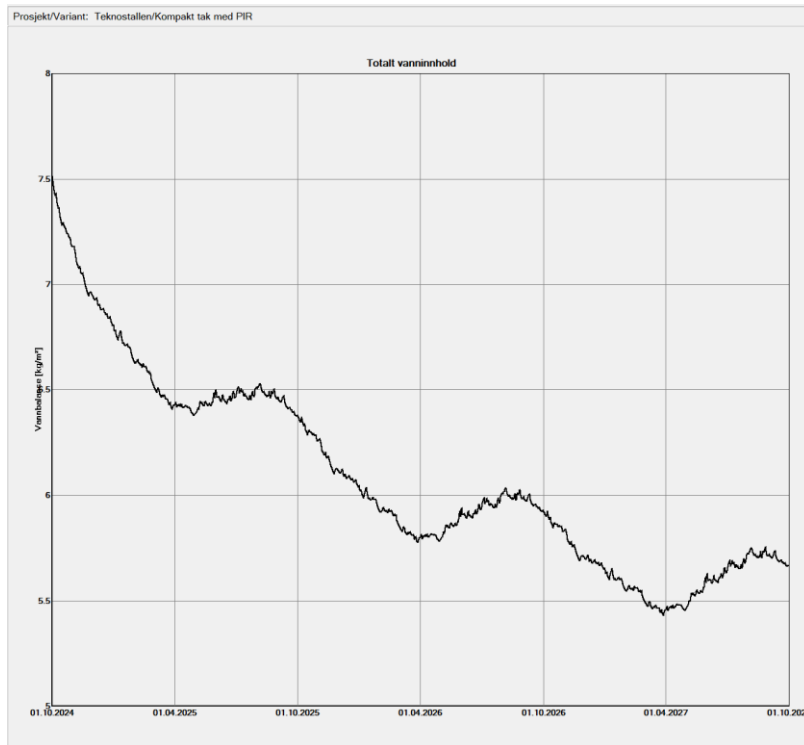
Figur 63: Kompakt tak med PIR og mineralull. Brukes som grunnlag for simulering i WUFI. Hentet fra: NCC.



Figur 64: Totalt vanninnhold i kompakt tak med EPS og XPS.



Figur 65: Relativ fuktighet og temperatur i isolasjonslag av EPS.



Figur 66: Totalt vanninnhold i kompakt tak med PIR og mineralull.



Figur 67: Relativ fuktighet og temperatur i isolasjonslag av PIR.

8.1.2. Tolkning av resultater

For det kompakte taket med EPS og XPS viser simuleringen at det totale vanninnholdet i taket synker over tid. Se Figur 64, Figur 65, vedlegg 2 og 3. Dette er positivt med tanke på fuktutfordringer. Samtidig tyder data for de ulike sjiktene på lave fuktverdier. Det er stabilt lavt fuktinnhold på den nedre takmembranen og laget med EPS. Laget med XPS har synkende vanninnhold. XPS har lavt fuktopptak, men det er naturlig at det er et visst fuktinnhold i dette materialet siden det i simuleringen er lagt inn som øverste lag over takmembranen. Materialets egenskaper gjør at det har lav konduktivitet, og derav god isolerende effekt selv om det er plassert over membranen. For EPS er det beregnet synkende relativ fuktighet som stabiliserer seg på omtrent 70 % maksimalt på årsbasis. Tilsvarende er utviklingen av relativ fuktighet på innvendig overflate stabil og under 70 %. Verdiene tyder på at det ikke er fare for kondens i konstruksjonen. Fuktinnholdet i betongdekket er også synkende med lave verdier ned mot ca. 2,5 %. Dette er positivt for levetiden til betongen, da lite fukt medfører redusert korrosjon av armeringen. Risikoen for biologisk vekst er også lav på grunn av lavt fuktnivå i konstruksjonen.

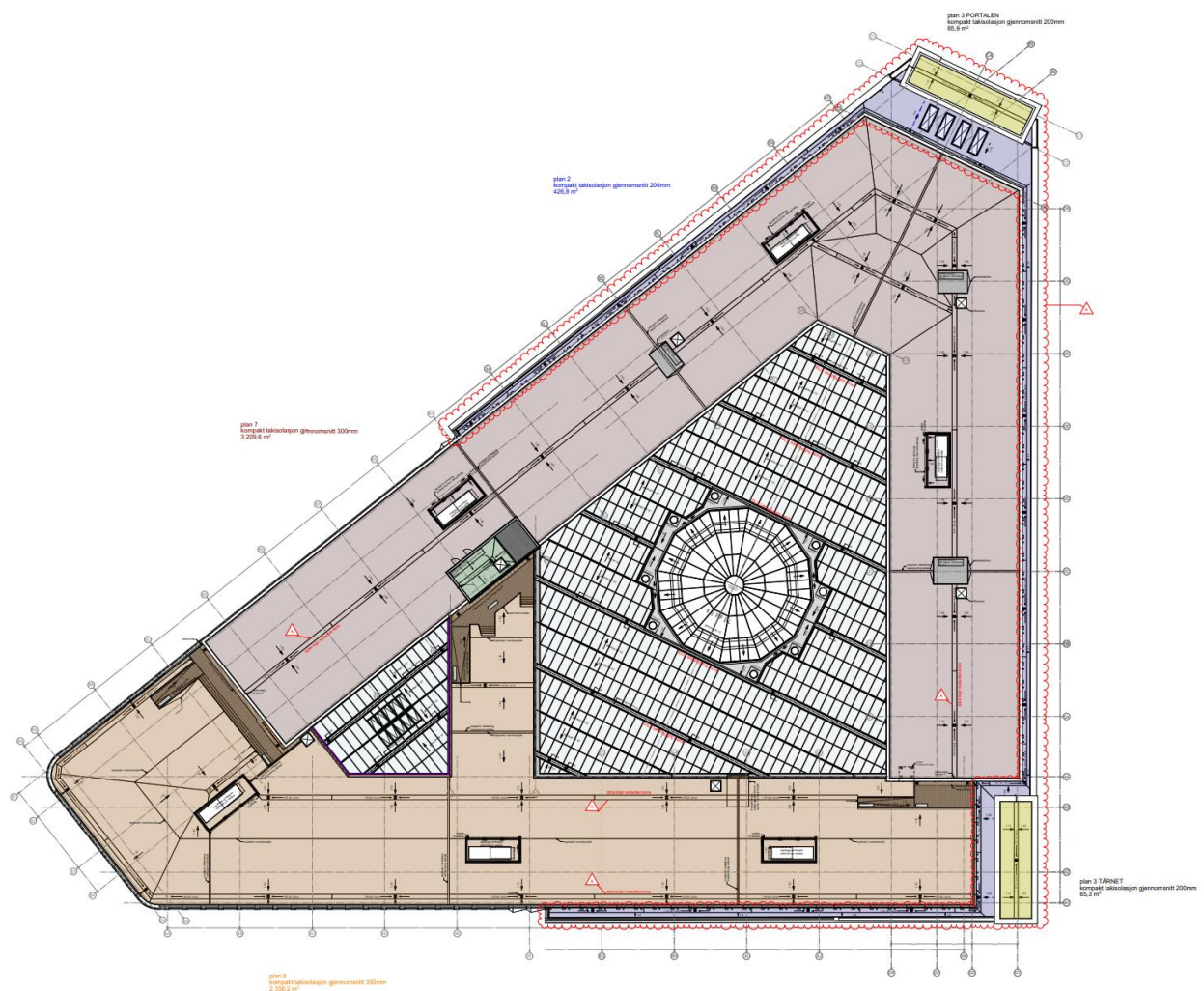
Resultater for det kompakte taket med PIR og mineralull viser at totalt vanninnhold reduseres over tidsperioden. Se Figur 66, Figur 67, vedlegg 2 og 4. I mineralulla er det svakt økende fuktinnhold. Det samme gjelder for PIR-isolasjonen. Både PIR og mineralull tåler å være plassert i fuktig miljø, men det er gunstig for konstruksjonen at fuktnivåene holdes lave. Relativ fuktighet i laget med PIR er anslått til opp mot ca. 70 %, som tyder på at det ikke er fare for kondens i dette sjiktet. Fuktnivået ved nedre takmembran er lavt, mens vanninnholdet i betongen er synkende ned mot ca. 2,5 % som medfører lav korrosjonsfare av armeringen. Relativ fuktighet på innvendig overflate er under 70%, som gir liten risiko for kondens og biologisk vekst. For lagene med mineralull og PIR er det naturlig å gjøre grundigere analyser av fuktnivåene siden simuleringen antyder at de er svakt økende.

Feilkilder i forbindelse med simuleringen er vurdert i kapittel 10.0. Diskusjon.

8.2. Avrenning

På Teknostallens komplekse takkonstruksjon er mange forhold med på å påvirke hvordan avrenning bør løses. Visse områder på taket er ekstra utsatt for utfordringer tilknyttet avrenning og fuktproblematikk. På bakgrunn av dette gjennomføres det en analyse av takets risikoområder og aktuelle tiltak.

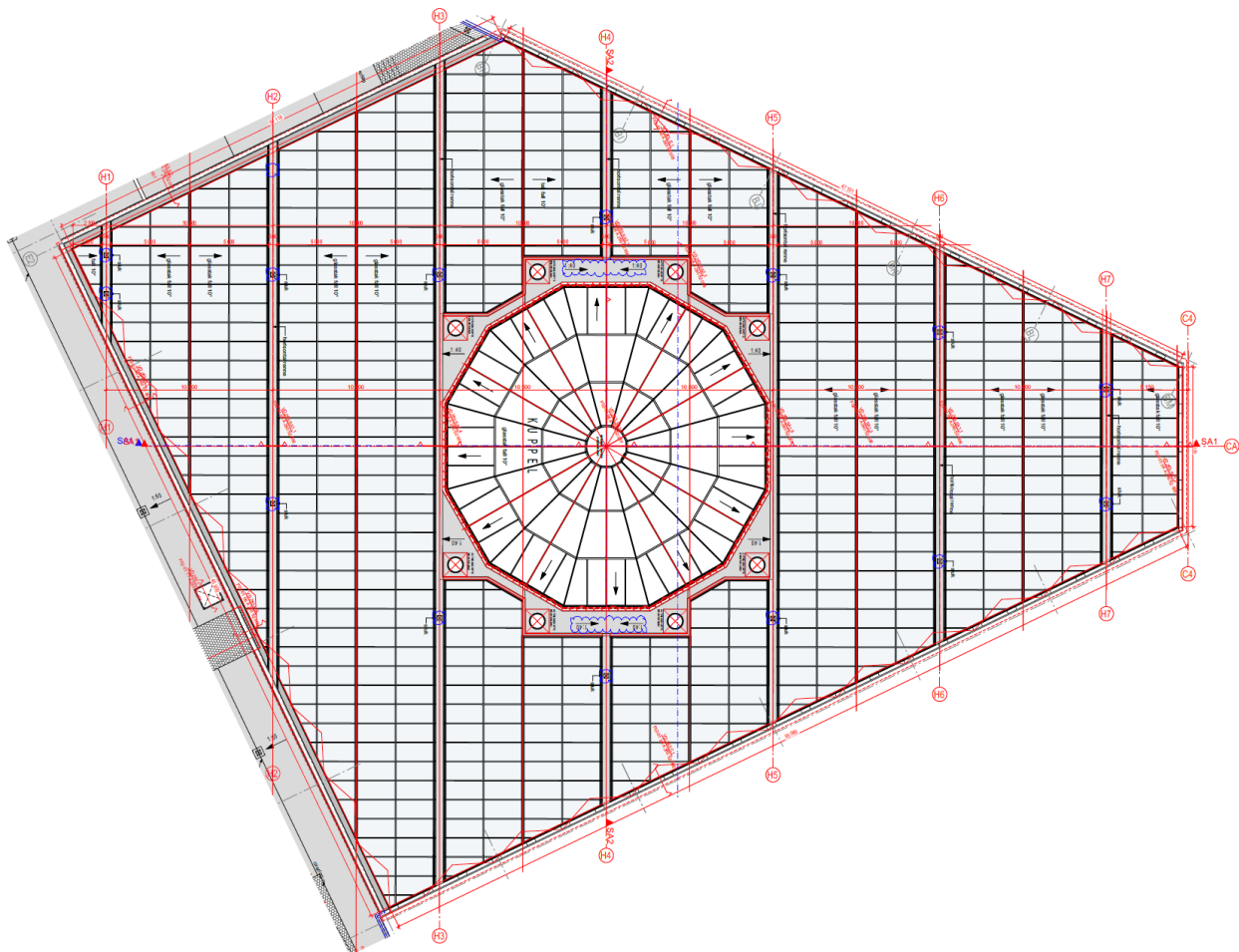
8.2.1. Fallplan



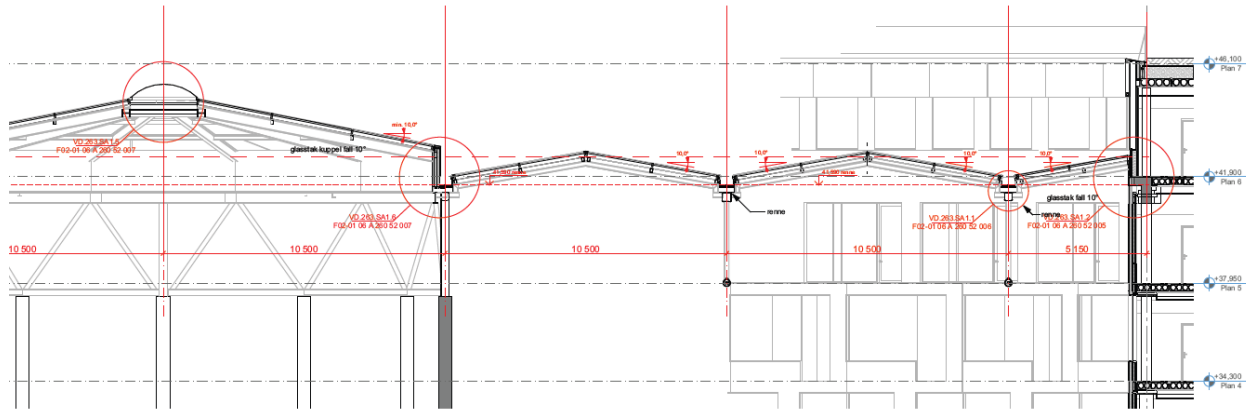
Figur 68: Fallplan for taket på Teknostallen. Hentet fra: NCC.

Fallplan for taket på Teknostallen er sentral for forebygging av fuktutfordringer og er vist på Figur 68. Taket er seksjonert i ulike områder for å begrense skadeomfang. Aktuelle risikoområder er blant annet ved installasjoner, gjennomføringer og overganger mellom ulike dekker. Det er anlagt fall 1:60 på takflate og i renner mot sluk. Installasjoner og gjennomføringer er strategisk plassert ved renne og det unngås plassering i lavbrekk. Det er samtidig lagt motfallskiler som leder vann bort fra installasjonene. Dermed slipper man oppdemming av vann rundt disse og oppnår redusert risiko for fuktskader. Nødoverløp sikrer drenering fra taket ved store nedbørmengder og fører vann blant annet via renner langs fasade til sluk på plan seks.

Figur 69 viser fallplan for glasstak over det store atriet.



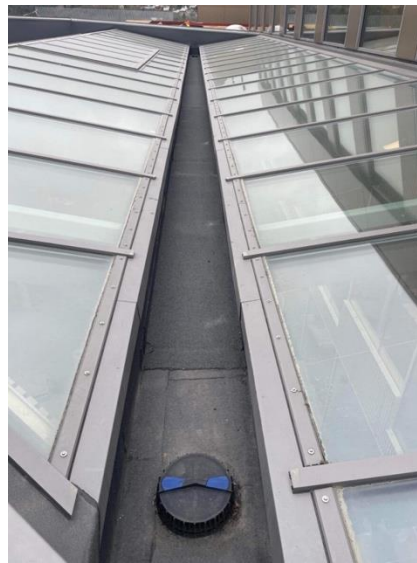
Figur 69: Fallplan for glasstak over atrium. Hentet fra: NCC



Figur 70: Horisontalsnitt basert på BIM-modell som viser fall på glasstak. Hentet fra: NCC.

Glasstak har fall på 10 grader for å sikre avrenning og at snø sklir av glasset. Fra kuppel er det fall på 10 grader fra sentrum ned til flate med fall 1:40 mot de horisontale rennene som fører videre til sluk. Avtrekksvifter for klimajustering og i tilfelle brann er plassert i ytterkant av kuppel. Taket over atriet tåler relativt lite vekt. Lastplan utarbeidet av Multiconsult viser at mesteparten av glasstaket tåler snølast på $2,8 \text{ kN/m}^2$, mens det i ytterkant mot øst og nordvest tåler $7,0 \text{ kN/m}^2$, se vedlegg 5. Derfor er det viktig at det ikke samles opp for mye snø på taket. Figur 70 viser et horisontalsnitt som illustrerer fall og renner på glasstaket.

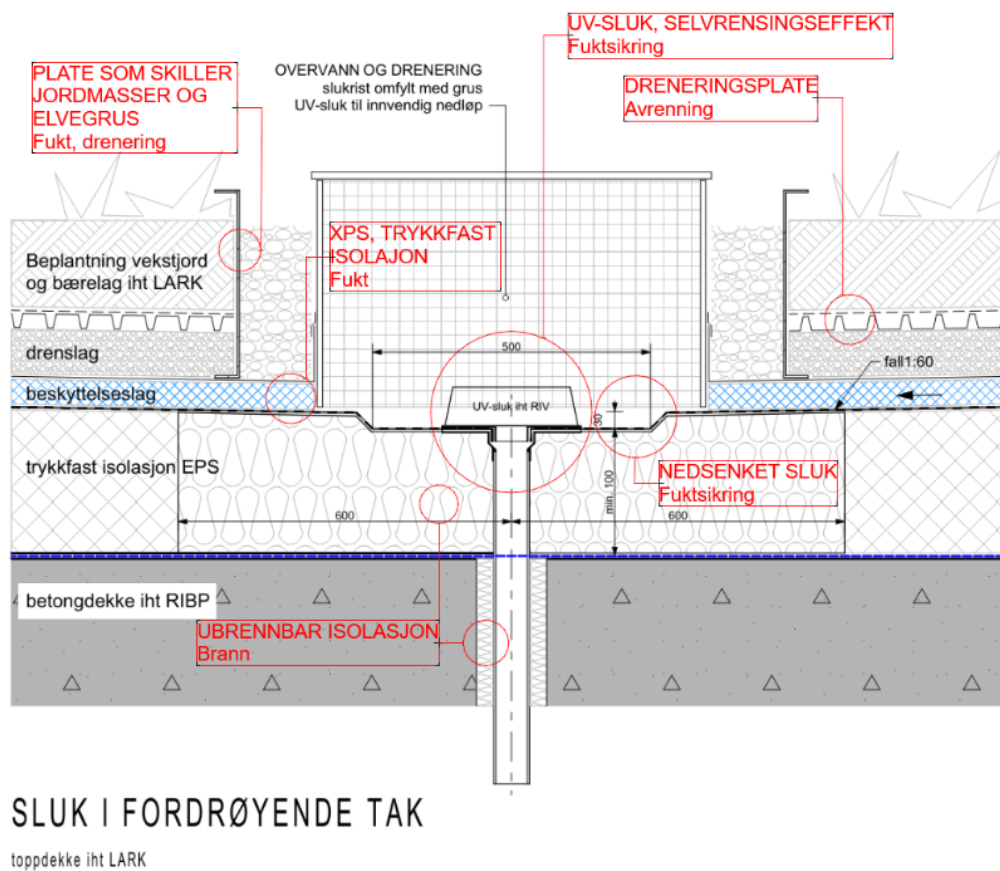
Ved det lille atriet benyttes vinduer i glasstaket som ventilasjon og røykluker, se Figur 71.



Figur 71: Renne og sluk mellom glasstak over det lille atriet. Privat bilde tatt under befaring på Teknostallen.

8.2.2. UV-sluk

Utforming av sluk er avgjørende for at taket dreneres på en effektiv måte. For å unngå frostproblemer er det valgt å redusere isolasjonstykkelsen ved sluk, slik at varme fra innvendig side av bygget kan smelte det nederste snølaget om vinteren. Dette medfører økt varmetap gjennom taket. Siden det er snakk om et relativt lite areal, er det likevel mulig å tilfredsstille krav til energieffektivitet med denne løsningen. For å redusere oppsamling av materiale rundt sluk er det montert en slukrist. Den beskytter samtidig sluket ved trafikk på taket. Ubrennbar isolasjon benyttes med en avstand 600 mm på hver side av sluket slik at risiko for brannspredning reduseres. Mineralull rundt nedløpsrøret beskytter mot brannspredning ved gjennomføringen. For å unngå innsig av vann bør øvre takmembran mot sluk og nedre membran mot nedløpsrør tettes nøyaktig. Takmembran bør skjøtes slik at øverste lag i skjøt er nærere høybrekk enn det nederste laget. Dette gir mindre fuktbelastning på skjøt og enklere avrenning.



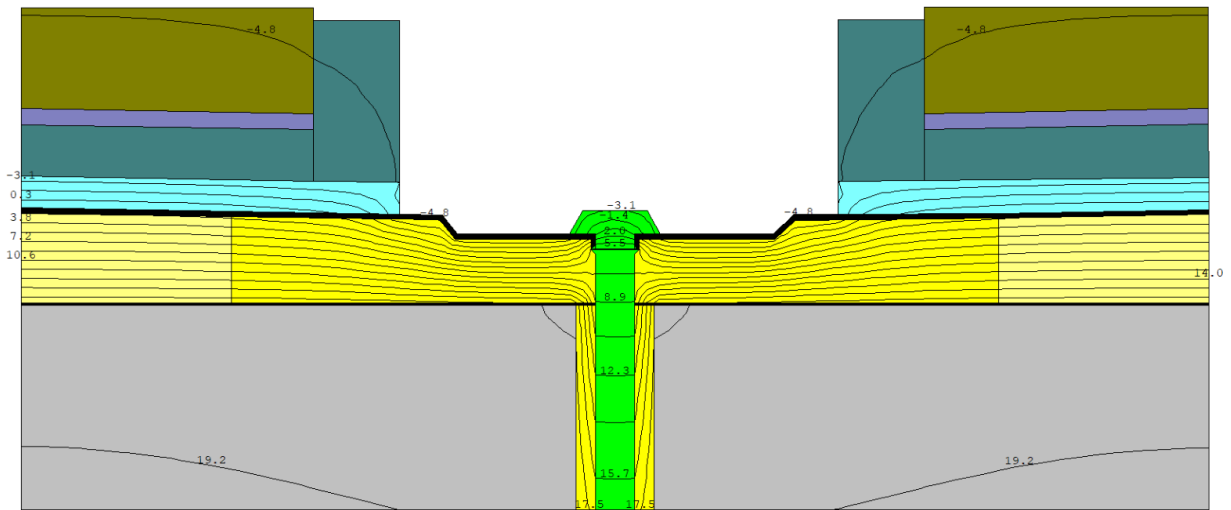
Figur 72: Detaljtegning av sluk på område med blågrønt tak.
Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

På Teknostallen benyttes det UV-sluk. UV takavløpssystem er beregnet for fullstrømming ved hjelp av luftlås. Luftlås forhindrer luftinnblanding i avløpsnett. UV-systemer utnytter hele høydeforskjellen mellom taket og bakken, noe som reduserer rørdimensjonene og øker strømningshastigheten. Dette gir en selvrensingseffekt i sluk og rørsystem i tillegg til at det reduserer støynivået. Teknologien er godkjent av flere nasjonale og internasjonale organer, og erstatter tradisjonelle dreneringsmetoder som ofte er upraktiske for moderne bygninger. UV-systemet minimerer antall og diameter på nedløpsrør og gir fleksible dreneringspunkter [105].

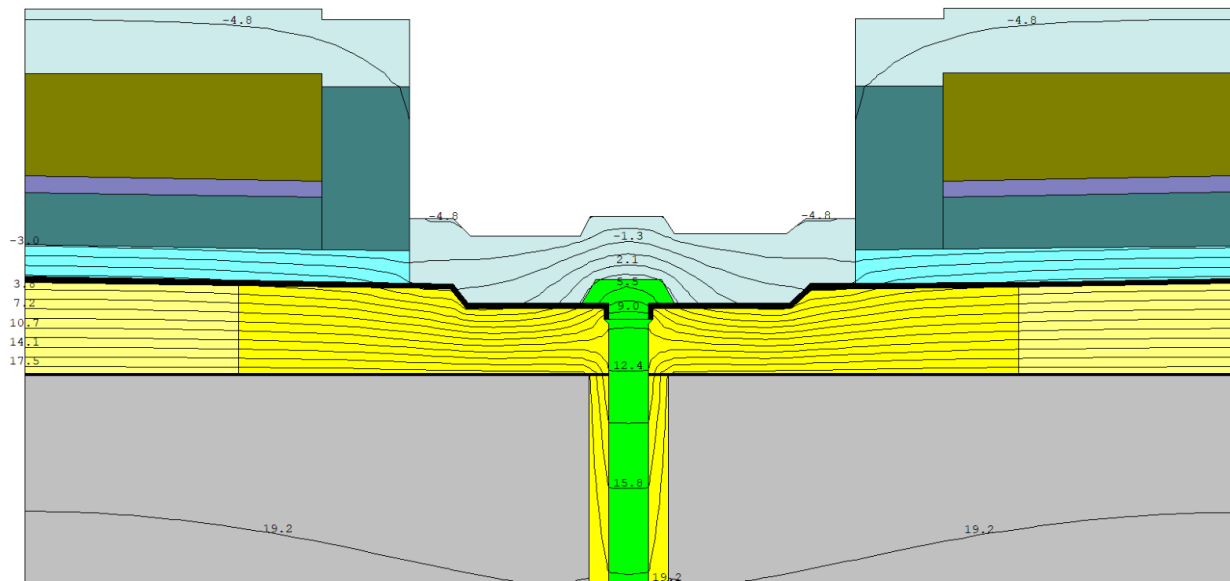


Figur 73: Sluk på taket på Teknostallen. Foto: Privat bilde fra befarings på Teknostallen.

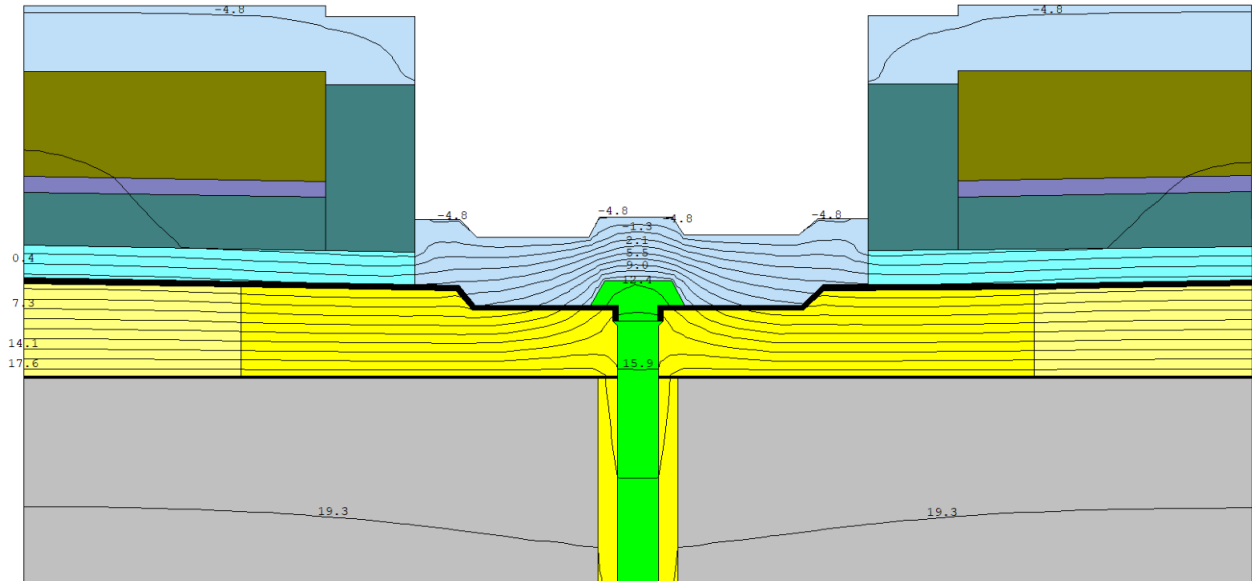
For å undersøke de termiske forholdene rundt sluk er det foretatt simuleringer i THERM med ulike scenarioer. Scenario 1 er uten snø på taket. Scenario 2 inkluderer et 10 cm tykt kompakt snølag på taket, mens det benyttes et 10 cm tykt lag med lett nysnø i scenario 3. For disse situasjonene er det undersøkt med ulike utetemperaturer. Her vises resultater for $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Valgt innetemperatur er $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Resterende simuleringer for andre temperaturer er vedlagt i vedlegg 6.



Figur 74: Scenario 1 i THERM: Uten snø.



Figur 75: Scenario 2 i THERM: 10 cm kompakt snø med termisk konduktivitet 0,2 W/(mK).



Figur 76: Scenario 3 i THERM: 10 cm lett nysnø med termisk konduktivitet 0,05 W/(mK).

Figur 74 viser simuleringen uten snø på taket hvor temperaturen i overkant av takmembranen er under null når utetemperaturen er $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samtidig er temperaturen i selve sluket omtrent $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Resultatene antyder at vann som ligger på takmembranen ved sluk kan fryse under de gitte forutsetningene. Disse resultatene bør vektlegges med forsiktighet siden simuleringen er basert på en forenklet modell.

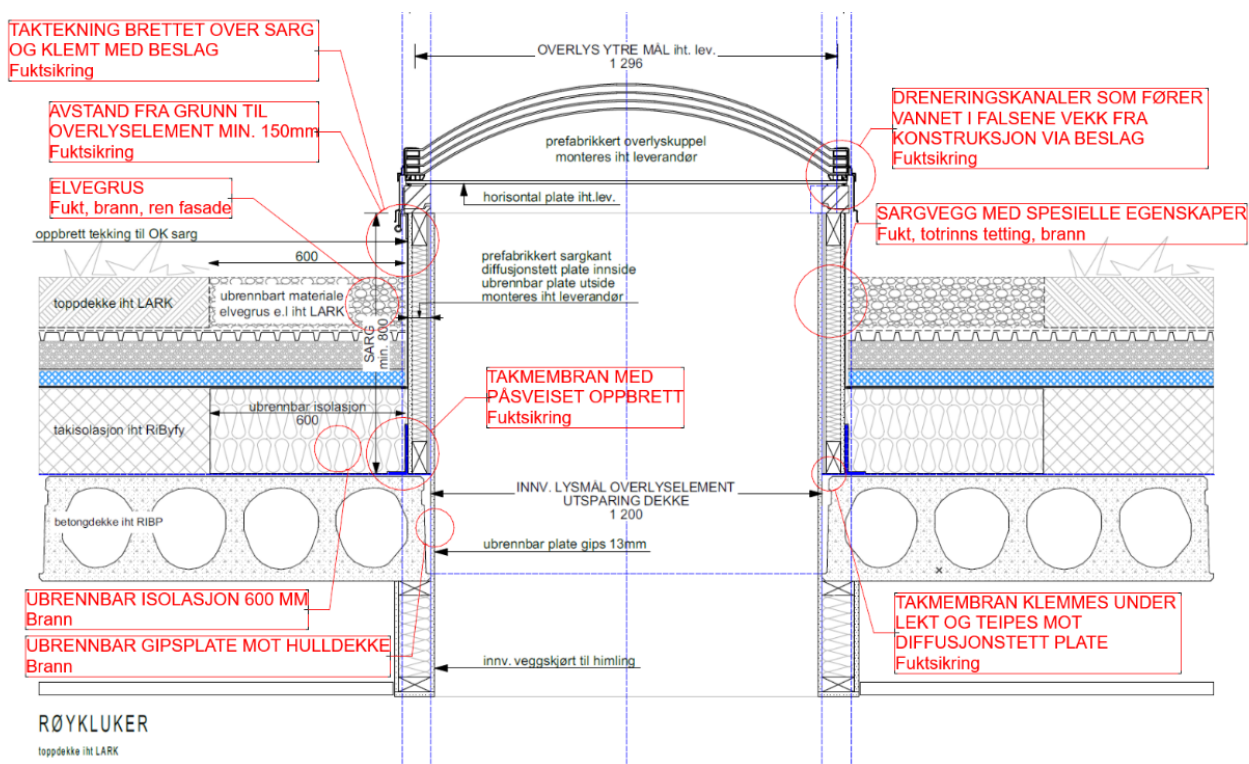
Figur 75 viser simuleringen med et 10 cm kompakt snølag over taktekingen hvor temperaturen er ca. $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette vil si at forholdene med tanke på frostproblemer ved sluket er gunstigere i denne situasjonen.

På tilsvarende måte er temperaturen enda høyere når snølaget består av lett nysnø, se Figur 76. Dette er som forventet, siden den termiske konduktiviteten til laget med nysnø er satt til $0,05\text{ W/(mK)}$, mens den for kompakt snø er satt til $0,2\text{ W/(mK)}$. Resultatene viser at snølaget har en betydelig isolerende effekt, som gir høyere temperatur på taktekingens overflate. Snøens faktiske termiske effekt på konstruksjonen er vanskelig å måle nøyaktig, siden fuktinnhold og komprimering varierer mye i løpet av relativt kort tid.

Aktuelle feilkilder ved simuleringen er videre diskutert i kapittel 10.0. Diskusjon.

8.3. Gjennomføringer og installasjoner

8.3.1. Overlyselement



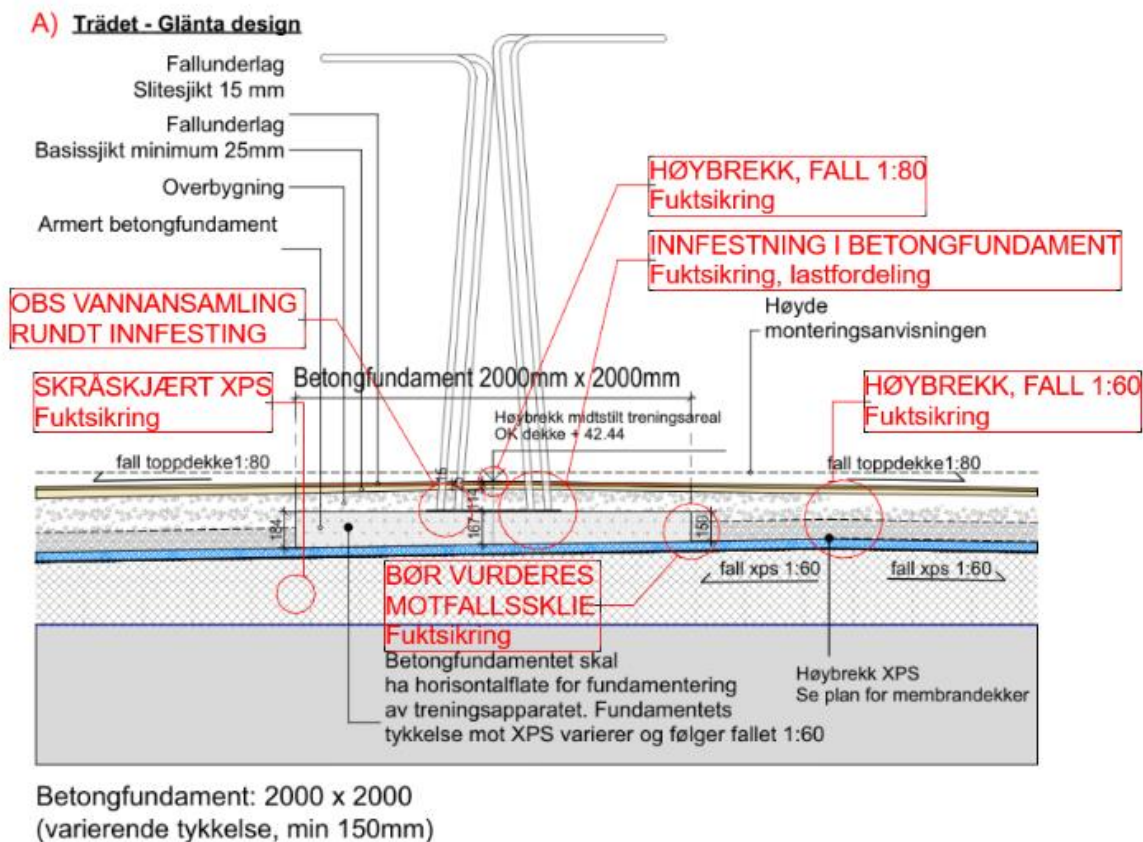
Figur 77: Overlyselement. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Overlyselementene på Teknostallen øker tilgangen på dagslys og fungerer som røykluker. Flere forhold ved disse bør tas hensyn til. Figur 77 viser valgt løsning. Det brukes 600 mm drenerende masser i form av elvegrus eller lignende inntil overlyselementet. Dette for å redusere fuktbelastning inntil sarg, samtidig som fare for brannspredning reduseres. Det legges et tilsvarende bredt felt med ubrennbar isolasjon inntil overlyselementet for å hindre brannspredning. Elvegrus medfører redusert sprut av vann og skitt mot sarg og drenerer effektivt slik at fuktnivået begrenses. Heving av overlyselementet til minimum 150 mm over overkant av toppdekke reduserer fuktbelastningen på elementet, samtidig som kuppelformet element sørger for raskere avrenning av snø og regn. Vann som trenger inn i falsene på overlyselementet bør føres ut gjennom dreneringskanaler via beslag for å sikre at det ikke trenger inn videre i sargkonstruksjonen.

Den øverste takmembranen føres til topp av sarg og klemmes inntil konstruksjonsvirke. Et metallbeslag klemmer gipsplaten mot membranen. Beslag for vannavrenning dekker membranens øvre del og beskytter mot vanninntrengning ved slagregn. Den nedre takmembranen fungerer som dampsperre og har en påsveiset oppbrett ved foten av sarg. Dette gir økt beskyttelse mot fuktinntrenging i tilfelle det oppstår vannansamling ved isolasjon og betong. Nedre takmembran legges under bunnsvill slik at fuktopptak i treverket fra betongen reduseres.

Det benyttes en prefabrikkert sargkant som har en diffusjonstett plate på innsiden som beskytter mot kondens på grunn av fuktig inneluft. Den dekkes med en ubrennbar plate på utsiden som reduserer fare for brannspredning. Denne platen bør ha en viss fukttoleranse siden den føres videre ned mot hulldekket med reduserte muligheter for uttørking. For ytterligere brannbeskyttelse er det plassert en gipsplate på innsiden av sarg, samtidig som veggskjørtet nedenfor dekkes med gipsplater.

8.3.2. Treningsapparater



Figur 78: Fundamentering av treningsapparater. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Figur 78 viser fundamenteringen av ett av treningsapparatene på Teknostallen.

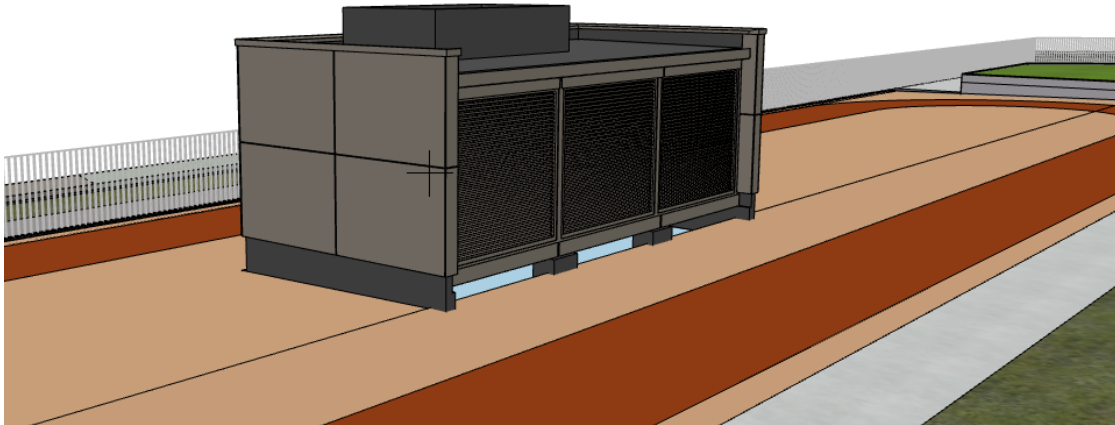
Treningsapparatene bør monteres på en måte som gir en fuktsikker konstruksjon. Innfesting gjøres via et betongfundament. Dersom apparatens bærende rørsystem hadde vært festet direkte i det underliggende laget med XPS ville det medført store punktlaster som kan skade isolasjonen. Dette ville resultert i lokale kuldebroer med påfølgende lav energieffektivitet. Samtidig ville punktlastene kunne punkttert den fuktsikrende takmembranen. Dette ville medført fare for vannansamling i laget under membranen og påfølgende fuktskader. Siden det er valgt å forankre i et betongfundament med en viss bredde fordeles lasten over et større areal slik at sannsynligheten for skader i XPS og membran reduseres.

For å sørge for avrenning fra området er laget med XPS skråskjært for å oppnå fall på 1:60. Toppdekket er lagt med fall 1:80. Tegningene viser høybrekk for XPS til høyre for betongfundamentene. For å unngå oppsamling av vann på høyre side av fundamentene bør det også være fall på tvers av den angitte fallretningen. Høybrekk i toppdekket er midstilt over fundament for å sørge for tilstrekkelig avrenning. På denne måten ledes vann raskt vekk fra apparatene. Samtidig gir dette en viss toleranse for at betongfundamentene kan komprimere underliggende konstruksjon uten at det samles opp vann i området. Siden fundamentenes overflate er horisontal bør det vurderes om det kan oppstå oppsamling av vann mellom innfestingene til apparatene. Dette kan eventuelt føre til økt fare for korrosjon av innfestingspunktene, samt armering i betongen.

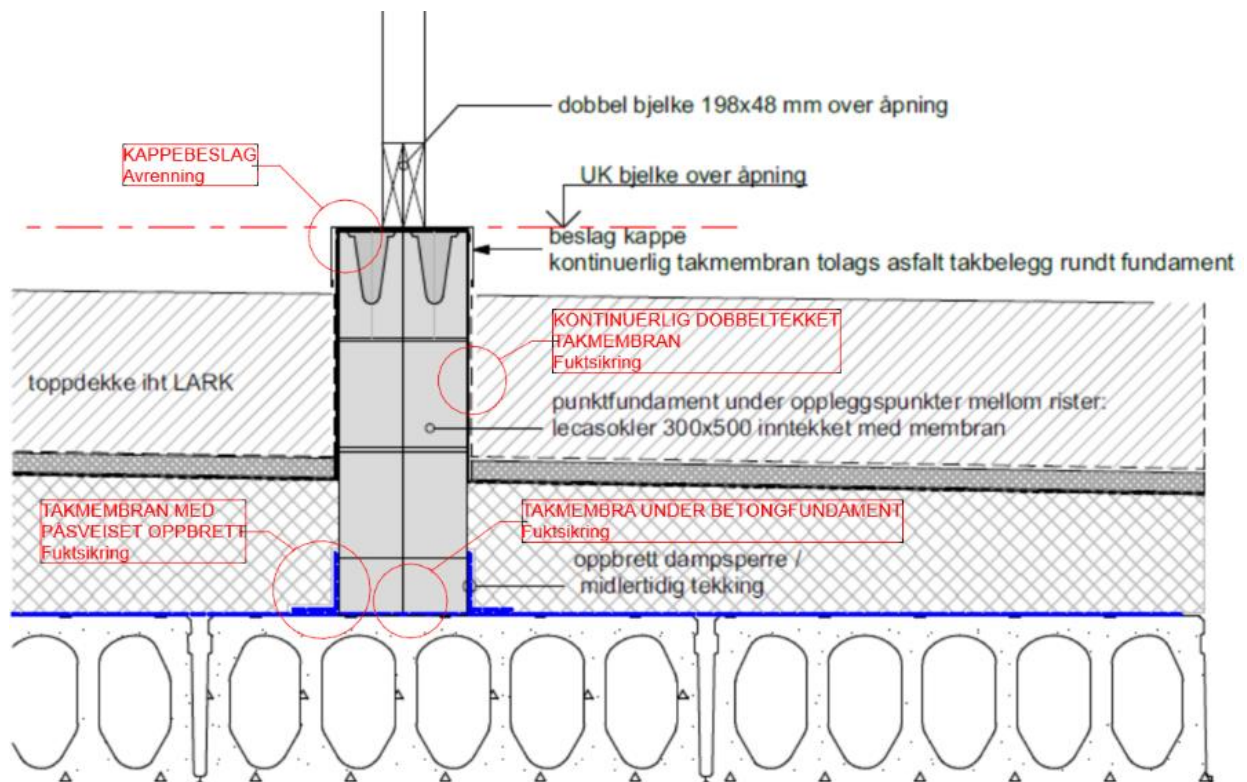
Treningsområdet er dekt med et fallunderlag, som gjennom myke støtabsorberende materialer demper belastningen ved fall. Fallunderlaget har drenerende effekt slik at mengden overflatevann reduseres. Det øverste laget er et slitesjikt som kan skiftes ut ved behov, og som beskytter et underliggende basissjikt. På denne måten forenkles vedlikeholdsbehovet. Underliggende sjikt kan bestå av drenerende masser som grus eller lignende, slik at vann dreneres videre til membran med fall.

På grunn av vekten av fundament, apparater og brukere i området rundt treningsapparatene anbefales det å ha fokus på skjøter mellom isolasjonsplatene. Ved montering av isolasjonen kan det være strategisk å unngå skjøter under fundamentet, slik at sannsynligheten for deformasjon av isolasjonen på grunn av ujevn belastning reduseres.

8.3.3. Takoppbygg



Figur 79: Takoppbygg fra BIM-modell. Hentet fra: NCC

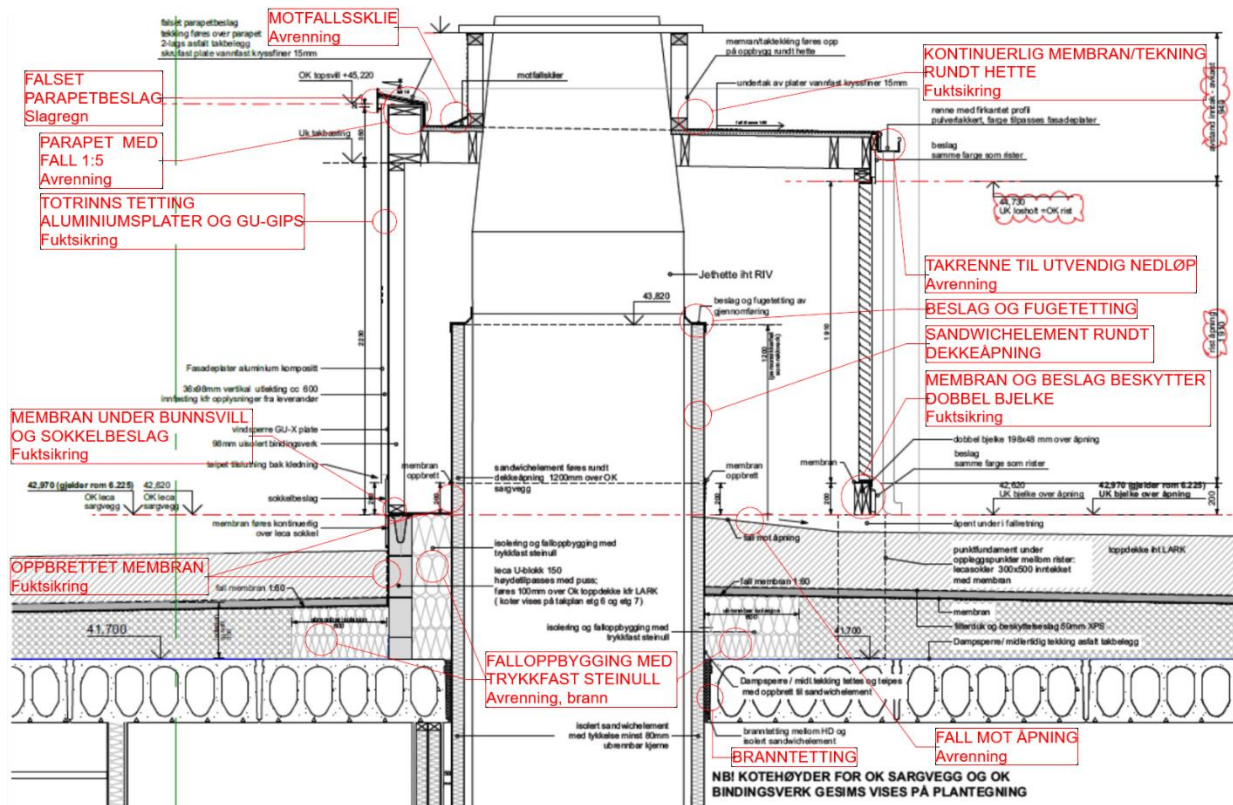


Figur 80: Fundament takoppbygg. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Figur 79 og Figur 80 viser henholdsvis takoppbygg fra BIM-modell og fundament for takoppbygg. Valgt fundament består av Lecasokler som er et lett materiale som gir mulighet for rask oppføring av fundamentene. Ved montering av første lag med Leca bør det kontrolleres at underliggende asfaltbelegg ikke perforeres av soklene eller verktøy som benyttes ved arbeidet.

Takmembranen som fungerer som dampsperre bør teipes og tettes ordentlig mot fundament. Ved å montere en oppbrett med et ekstra lag med membran mot nedre del av fundament økes sikkerheten mot vanninntrengning. Et dobbelt lag med asfaltbelegg utgjør den øvre takmembranen. Belegget føres over fundamentet, slik at det dannes et kontinuerlig vanntett sjikt. Venstre del av Figur 82 viser hvordan punktfundamentene er dekt av asfaltbelegg.

Det monteres et kappebeslag på toppen av punktfundamentet. Sannsynligheten for oppsamling av vann på beslaget kan reduseres dersom det legges med fall mot toppdekket. Dette kan redusere fuktbelastningen på bjelkene over punktfundamentene. For økt beskyttelse mot fuktinntrengning kan skjøter av takmembranen plasseres under beslaget. Det øverste laget med takmembran har fall mot renne. På venstre side av fundamentet bør det være anlagt fall i tverrgående retning slik at det ikke samles opp vann inntil fundamentet. Over laget med XPS er det planlagt et toppdekke som kan bestå av for eksempel vekstjord og vegetasjon eller drenerende masser. Mellom isolasjonen og toppdekket kan det legges inn en filterduk og et beskyttelseslag slik at det unngås at jord og steinfragmenter faller ned i de underliggende sjiktene, samtidig som isolasjonen beskyttes mot skader.



Figur 81: Takoppbygg. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Figur 81 viser hvordan takoppbygg rundt ventilasjonssystem skal konstrueres. På venstre side av oppbygget er det valgt å konstruere en parapet som leder vann inn mot oppbygget. Motfallsskiler reduserer vannoppsamlingen mot konstruksjonsvirket rundt ventilasjonshetten. Det bør være tverrgående fall som sikrer avrenning fra området ved parapet. Taktekkingen består av tolags asfaltbelegg og monteres rundt ventilasjonshetten. Den bør tettes nøyaktig mot hetten for å unngå innsig av vann. Takmembranen føres opp på oversiden av oppbygget og monteres rundt toppen av ventilasjonsinstallasjonen. Den klemmes mellom lekt og horisontal plate. Det er essensielt for fukttettingen av belegget er tilstrekkelig festet, da eventuelle åpninger vil lede vann inn i konstruksjonen.

Asfaltbelegget føres over parapet, for økt sikkerhet mot fukt. Platen som parapetbeslaget monteres i bør være tilstrekkelig skruffast og vannfast. Dersom skruer løsner vil dette være utsatte punkter for innsig av fukt inn til platen. Parapetbeslaget dekker for vanninntrengning ned til fasadeplate av aluminium. Det er viktig at parapetbeslaget dekker øverste del av fasadeplatene

slik at slagregn ikke fører til vanninntrengning. Veggen bak fasadeplatene er bygd opp av stendere med en gipsbasert vindsperreplate. Vertikale lekter sørger for lufting bak aluminiumsplatene. Luftingen bidrar til å tørke ut eventuell fukt i konstruksjonen.

På høyre side er det lagt en dobbel bjelke over punktfundamentene. Det kan vurderes å legge en membran mellom fundamentene og bjelkene for å reduseres fuktopptak i bjelkene, men de har i utgangspunktet god utlufting siden de ligger åpent mellom punktfundamentene med avstand til toppdekket. En membran legges over bjelkene for å gi forbedret tetting mot fasaden. Avrenning fra fasaden forbedres gjennom et beslag som fører vann fra fasaden ut mot toppdekket. Bak beslaget er det montert en avstandslist som sørger for at beslaget forblir i ønsket posisjon og ikke presses innover. På tegningen fører beslaget vannet ned på punktfundamentets toppkant. Siden det er lagt beslag med fall og asfaltbelegg over punktfundamentene fremstår dette som en god løsning.

På høyre side av taket over oppbygget er det valgt en løsning med fall på 1:60 ned mot takrenne. Rennet bør ha fall mot nedløpsrør. Et beslag med dryppnese monteres nedenfor takrennen. Dersom det oppstår problemer med frost, tetting av renne eller lignende som fører til at vann renner mot fasade gir beslaget ekstra sikkerhet mot at vann skader fasaden.

Det er anlagt 1:60 fall på membranen i retning fra fundament. Dette sørger for at vann ikke samles opp ved fundamentene. Et sokkelbeslag monteres for økt fuktsikring i overgangen mellom bunnsvill og fundament. Fuktighet som kommer inn bak fasadeplatene og renner av vindsperreplaten føres på denne måten forbi bunnsvill og ned mot takmembran og valgt toppdekke. Ved å teipe overgangen mellom sokkellist og gipsplate, eller eventuelt montere en list over overgangen, sikres det at vann føres på utsiden av beslaget. Takmembranen føres over fundament og videre 200 mm opp på sandwichelement som dekker ventilasjonsinstallasjonen. På denne måten unngås det at eventuell fukt som er på innsiden av takoppbygget føres ned i steinulla under membranen.

Overgangen mellom sandwichelementet og jethetten løses ved å bruke et beslag og fugetetting, slik at fukt føres på utsiden av sandwichelementet og ikke på baksiden mot hetten. Åpningen mellom hulldekker og sandwichelement fylles med branntetting slik at brannspredning via gjennomføringen unngås.

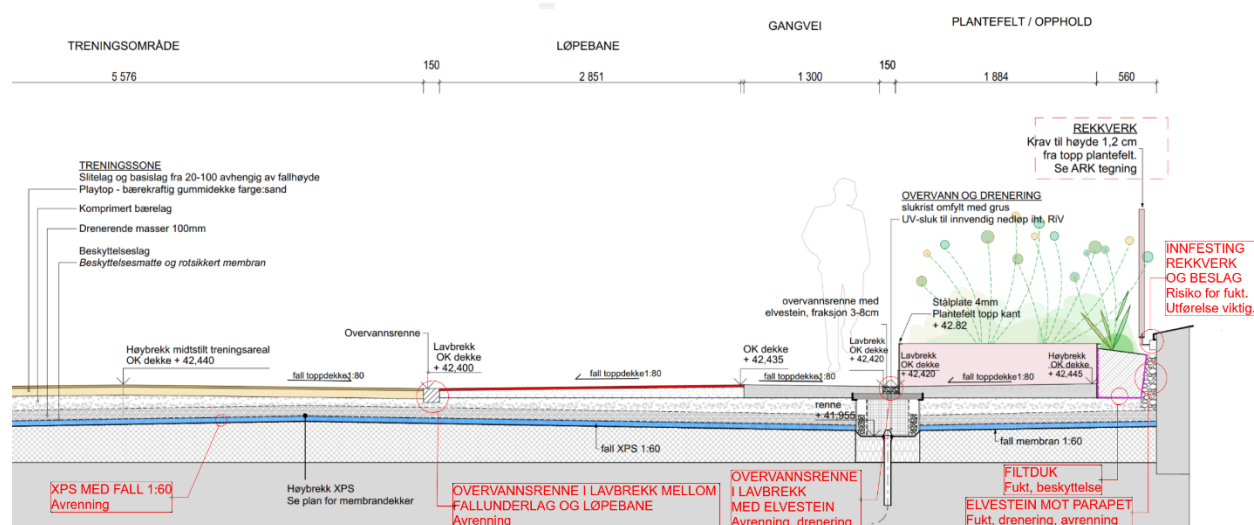
Bilder av takoppbygg på Teknostallen er vist i Figur 82. Til venstre kan man se fasade med punktfundamenter. Til høyre vises asfaltbelegg med oppbrett mot fasade, og hvordan veggen er bygd opp med gipsplater, luftelekter og fasadeplater. Det er viktig med tett avslutning av oppbrett. Dette kan for eksempel sikres med asfaltlim. Det er lagt membran på lektene, slik at lektene beskyttes mot fukt fra fasadeplatene. Lektene bidrar til å klemme asfaltmembranen mot gipsplatene. Teip i skjøt mellom vindsperreplatene sørger for at vindtettheten opprettholdes. Samtidig bidrar den til at fukt på gipsplatene ikke samles opp i skjøtene.



*Figur 82: Takoppbygg på punktfundamenter (høyre) og oppbrett av takmembran mot fasade (venstre).
Private bilder fra befaring på Teknostallen.*

8.4. Overganger

8.4.1. Løpebane – Treningsområde



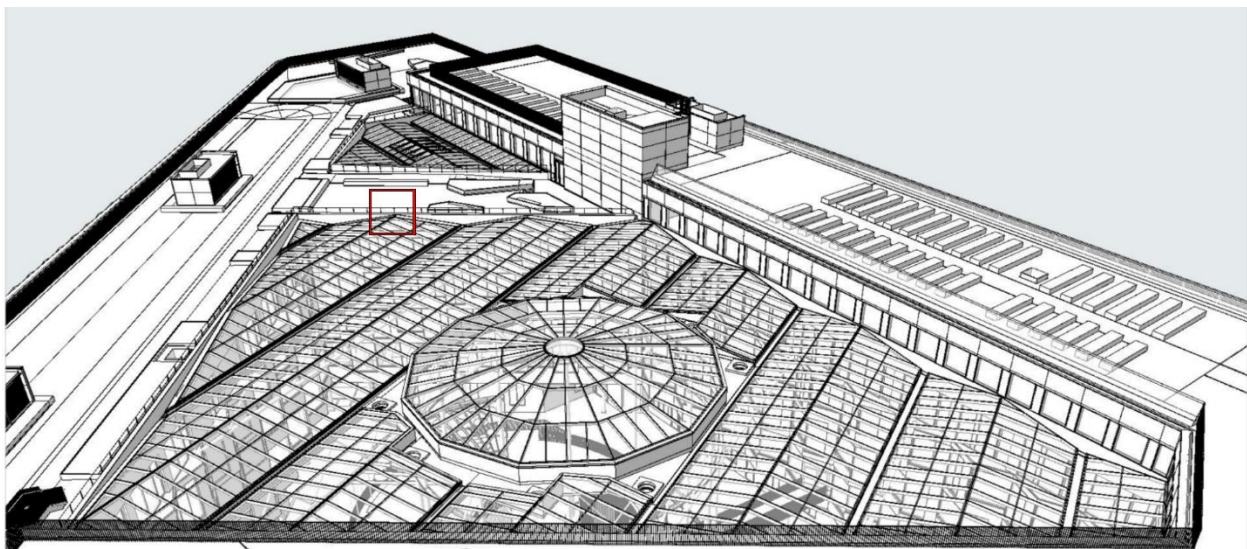
Figur 83: Overgang mellom planterfelt, gangvei, løpebane og treningsområde.
Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Figur 83 viser et 1:40 snitt av området der løpebane møter treningsareal. Dekket på treningsarealet har fall på 1:80 mot overvannsrenne som er plassert i lavbrekk mellom fallunderlag og løpebane. Løpebanens toppdekke har tilsvarende fall mot renne. Dette sørger for at vann ikke samles opp på løpebanen og treningsarealet. Dekket på gangveien og under planterfeltet har 1:80 fall mot renne som fører til sluk. Over renne er det plassert elvestein slik at avrenning fra betongen dreneres ned til sluk uten at andre materialer faller ned i sluk. På tilsvarende måte er elvestein benyttet i sidekantene for økt filtrering av vannet slik at sedimenteringen av sluk reduseres. Utførelsen av sluk bør gjøres grundig siden det er krevende å rette opp i feil oppbygging i ettertid. 1:60 fall på XPS mot renne gir avrenning for vann som dreneres gjennom dekket og drenerende materiale.

Mot parapet er det lagt elvestein som reduserer fuktbelastningen mot parapet, samtidig som brannspredning forebygges. På tegningen er bredden på dette laget relativt liten. Det kan vurderes om et bredere felt er hensiktsmessig for å redusere fare for brannspredning og forbedre sikkerheten mot fukt. Et smalt felt med vekstjord er plassert nært parapet, med en filtduk. For å holde jorda i planterfeltet på plass er det montert stålplater på begge sider. For å unngå korrosjon er det strategisk at disse har en rustbeskyttende behandling.

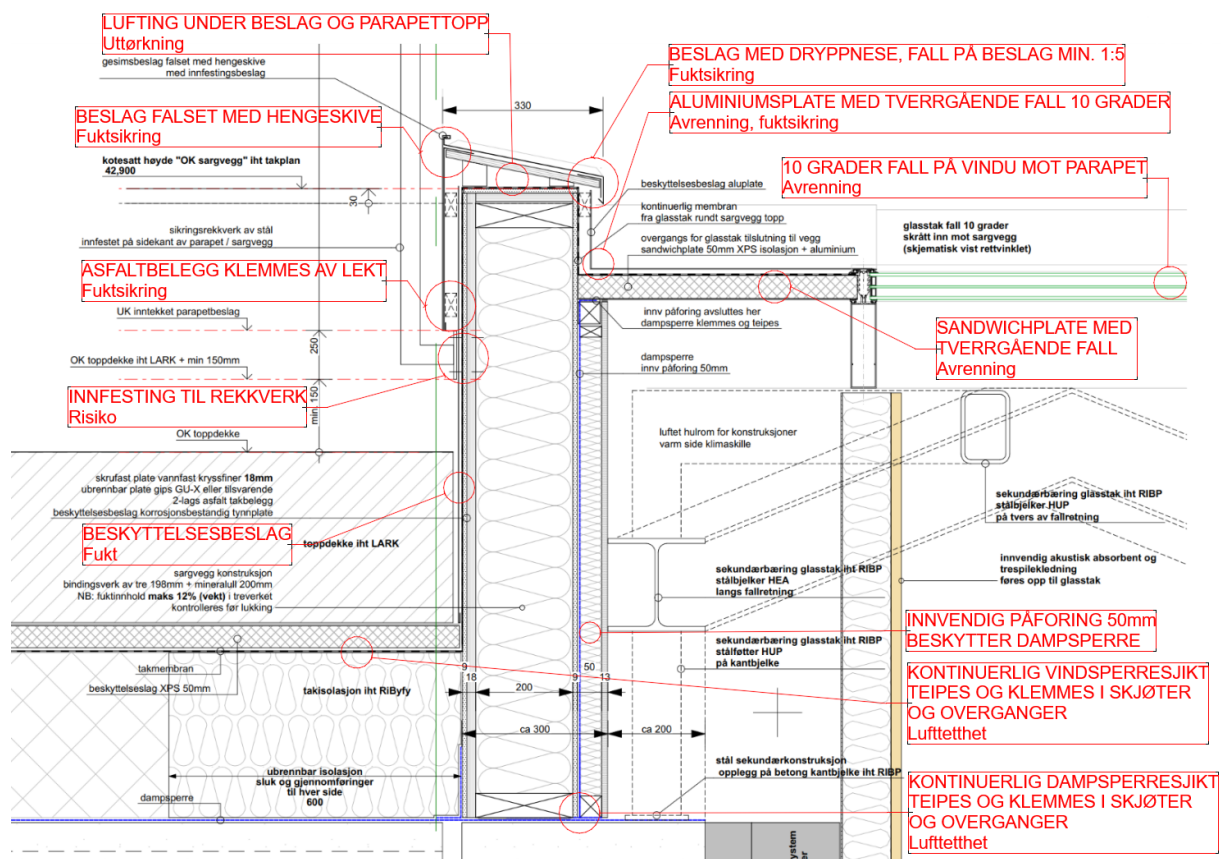
Dette er en oversiktstegning uten spesielt fokus på innfesting av rekkverk. Det er derfor noe uklart hvordan dette skal festes mot parapet. For å unngå oppsamling av vann ved innfestingen er det strategisk å føre parapetbeslag slik at vann renner av på utsiden av innfestingen. Det bør samtidig sikres at ikke slagregn eller vannsprut kommer inn under beslaget. Innfesting bør behandles mot korrosjon og kan dekket til med et beskyttende deksel. Syrefaste skruer gir økt rustmotstand.

8.4.2. Glasstak – Sargvegg



*Figur 84: Oversiktstegning av glasstak som viser hvor detalj på Figur 85 er tegnet fra.
Rød markering er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.*

En oversikt over glasstaket på Teknostallen er illustrert i Figur 84. Glasstaket er plassert på et høyere nivå enn deler av omkringliggende tak, mens andre møtende takflater er på et lavere nivå enn glasstaket. Disse forskjellene legger føringer for hvordan overganger mellom taktypene bør utformes.



Figur 85: Sargvegg ved glasstak. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Detaljtegning for overgang mellom sargvegg og glasstak er fremstilt i Figur 85. Tegningen er et eksempel på hvordan de ulike taktypene er delt opp ved å bruke nivåforskjeller for å forenkle overgangene. På glasstaket er det anlagt fall på 10 grader mot sargvegg. En sandwichplate monteres mellom sargvegg og glasstaket, og beskyttes av et aluminiumsbeslag som føres opp mot parapetbeslag. Beslaget beskytter konstruksjonen mot fuktinntrengning, og bør ha tverrgående fall for å unngå at vann samles opp på flaten.

Det legges en ekstra oppbrett med takmembran ved fot av sargvegg for økt fuktsikring. Det kan være strategisk å anlegge grus eller lignende drenerende materiale inntil sargvegg for å redusere fuktbelastning. Dette er også gunstig med tanke på brann. Takmembran legges under bunnsvill og påføring for å redusere fuktoptak i treverk.

Et tolags asfaltbelegg legges over sandwichelementet og føres over toppen av sargveggen og videre under laget med XPS på takflaten bortenfor. På denne måten dannes et kontinuerlig sperresjikt mot fukt. Belegget klemmes mot gipsplate ved hjelp av lekter på begge sider. For forbedret tetting rundt skruer som fester lekter kan det benyttes fugemasse mellom lekter og takmembran.

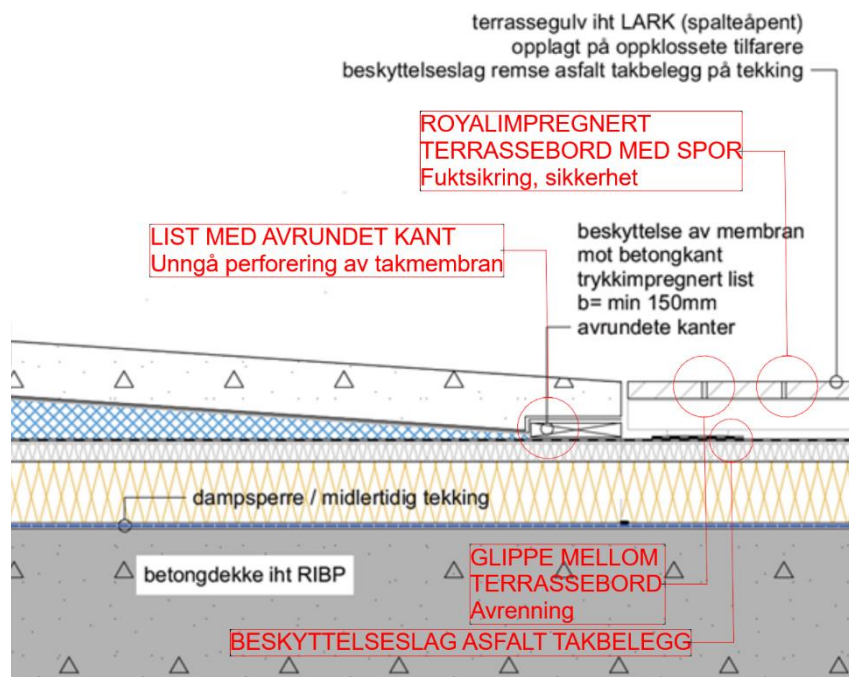
Parapetbeslaget bør ha fall på minimum 1:5. Mot glasstak bør beslagets dryppnese gå nedenfor toppen av aluminiumsplaten som føres mot parapet, slik at ikke slagregn eller spruting fra aluminiumsbeslag fører til økt fuktighet i materialene under parapetbeslaget. Samtidig bør det være tilstrekkelig mellomrom til utlufting for uttørking av konstruksjonen.

På den andre siden av sargveggen monteres det et beslag som føres ned mot innfesting av rekkverk. Bak beslaget monteres lekter som sørger for at beslaget har korrekt avstand fra vegg. Under parapetbeslaget benyttes en skrufast plate av vannfast kryssfiner, som gir tilstrekkelig feste ved montering av skruer og en viss fukttoleranse.

Sargveggen bygges opp av bindingsverk med mineralull mellom stenderne. På grunn av begrensede uttørkingsmuligheter bør det kontrolleres at trevirket har maks 12 vektprosent fuktinnhold før bindingsverket kles med plater. På innsiden monteres en gipsplate, før dampsperre og innvendig påføring monteres. På grunn av inntrukket posisjon har dampsperran økt beskyttelse mot perforering. Dampsperran legges over lekt og klemmes og teipes for damp tett tilslutning mot tak. På utsiden benyttes det skrufast og vannfast kryssfiner, med gipsplate eller lignende utenpå. Gipsplaten gir vindtetting og økt brannsikkerhet. Det monteres i tillegg en beskyttende korrosjonsbestandig tynnplate som en del av fasadeoppbyggingen.

Montering av rekkverk mot parapet er et risikoområde som bør spesifiseres i prosjekteringen for å unngå vanninntrenging i konstruksjonen. Syrefaste skruer med vanntettende pakning inn mot vegg er et aktuelt alternativ. Siden skruene penetrerer takmembranen kan fugemasse påføres rundt skruehull for forbedret tetting mot vanninntrengning. Valgt løsning med parapetbeslagets dryppnese på samme høyde som og utenfor innfestingen beskytter en god del av innfestingen til rekkverket siden drypping vil skje utenfor skruefester. Det er spesifisert at innfestingen skal plasseres minimum 150 mm over overkant av toppdekke. Dette gir en viss sikkerhet mot fukt fra fuktig toppdekke, vannsprut og snø på taket.

8.4.3. Rampe – Terrassegulv



Figur 86: Overgang rampe og terrassegulv. Røde markeringer er lagt inn på tegningsgrunnlag fra NCC.

Feil! Fant ikke referanse kilden. viser løsning for overgang mellom rampe og terrassegulv. Terrassebordene må ha tilstrekkelig glippe for å sikre hurtig avrenning fra terrassebordene, slik at vannlagring på terrassebordene forhindres. For å sikre lang levetid for terrassebordene er det valgt royalimpregnert treverk som har lavt fuktopptak og lite behov for vedlikehold. Samtidig gir impregneringen økt beskyttelse mot angrep av sopp og insekter. Kostnaden er noe høyere, men med tanke på forlenget levetid vurderes det som lønnsomt på lang sikt. For å unngå at det blir glatt på dekket kan det velges bord med freste spor slik at man har bedre feste ved gangtrafikk selv om det er vann på dekket.

List under betongrampe bør ha avrundede kanter for å unngå slitasje og etter hvert perforering av takmembran. Det bør være et tettende sjikt over XPS hvis det skal plasstøpes betong over XPS, slik at betongen ikke flyter ned mellom isolasjonsplatene ved støping. Det kan være krevende å skråkjære de ulike isolasjonsvariantene. Derfor kan det være tidsbesparende å benytte ferdig bestilte skrå plater med fall. For å beskytte takmembranen plasseres det en ekstra remse med asfaltbelegg under de oppklossete tilfærene som støtter opp terrassebordene.

9.0. Forskning og Utvikling (FoU)

Med økt fokus på bærekraft og energieffektivitet kan innovative løsninger bidra til å møte fremtidens behov for funksjonelle byggematerialer. Glass som byggemateriale har hatt en markant utvikling de siste årene og er et eksempel på dette. Utviklingen av transparente solceller og dynamiske smarte glass kan ytterligere forbedre energieffektiviteten ved å utnytte solenergi mer effektivt og regulere lys- og varmetransmisjon etter behov. Dette kan potensielt redusere behovet for kunstig belysning og mekanisk kjøling eller oppvarming. Samtidig er det viktig å adressere utfordringer som mekanisk motstandsevne, risiko for overoppheting og nødvendigheten av regelmessig vedlikehold og rengjøring. Med mer forskning på bruk av glass som byggemateriale i for eksempel takkonstruksjoner kan de nevnte fordelene bidra til motivasjon for å ta i bruk bygningsglass. Glass og aluminium er 100% resirkulerbare og dermed et gunstig materiale i et miljøperspektiv.

Statistikk fra rapporten viser at 75 % av skadetilfeller i bygg de siste årene skyldes fukt, hvorav 70 % av takskadene var knyttet til kompakte tak og -terrasser. Dette viser at det fremdeles er utfordrende å sikre bygningskonstruksjonen mot vanninntrenging. Som en strategi er det presentert overvåkningssystemer med fuktsensorer som kan detektere lekkasjer i sanntid med eksakt lokasjon. Dog er det viktig å poengtere at en slik teknologi har sine utfordringer. Teknologi kan i noen tilfeller opptre upålitelig, og dersom en sensor er i ustand og feilaktig detekterer en lekkasje kan det bli kostbart for eier av bygget å rive opp taktekningen på grunn av en feilmelding. Dette systemet er diskutert i bransjen og er ikke særlig utbredt i Norge i dag. Likevel har det vært interessant å se på ulike strategier i dette området, ettersom det vil bli mer behov for fuktsikring i et våtere klima med mer intens nedbør. Å belyse dette temaet er viktig for å fortsette utviklingen med å sikre at kompakte konstruksjoner oppfyller både nåværende og fremtidige krav til kvalitet og holdbarhet.

10.0. Diskusjon

Overganger mellom ulike takformer kan medføre utfordrende detaljer for fuktsikring. I arbeidet med oppgaven ble det tidlig i prosessen planlagt å se nærmere på hvordan overgangene mellom de ulike dekkene på Teknostallen kan prosjekteres og utføres på en måte som reduserer risiko for fuktskader. Da BIM-modell og detaljtegninger over taket ble innhentet, observerte gruppen at overgangene separeres med ulike høydenivåer på takkomponentene. På denne måten forenkles risikofylte overganger og kompliserte utføringer. Samtidig var de prosjekterte tegningene grundig utarbeidet gjennom en samspillsentreprise der arkitekt og bygningsfysiker var involvert fra tidlig fase. På bakgrunn av dette ble det naturlig å analysere eksisterende løsninger fremfor å utarbeide nye forslag.

Blågrønne tak er et fremtidsrettet alternativ som bidrar både til overvannshåndtering og arealutnyttelse. Prosjekter av Teknostallens størrelse er økonomisk krevende og valg av takkonstruksjon må derfor baseres på grundige undersøkelser av alternativene fremfor antakelser. I dette prosjektet er det valgt å benytte taket som oppholdsområde for brukerne av bygget. På denne måten kan grønne dekker med ulike funksjoner forsvares økonomisk ved at området utgjør et verdifullt rekreasjonsareal i et urbant område der tilgangen til areal er begrenset. Verdien av brukernes opplevelse av takets grønne elementer er vanskelig å måle, men gjør trolig bygget mer attraktivt for leietakere. Dette gir potensiale for økte leieinntekter for eier av bygget.

I løpet av prosjektrapporten er det utforsket aspekter ved glass i takkonstruksjoner, både praktiske fordeler og utfordringer. Noe av det som var interessant er hvordan glasstak og overlyselementer under visse forhold kan bidra til energieffektivisering og forbedring av brukeropplevelsen gjennom økt tilgang til naturlig lys, noe som har positive effekter på helse og produktivitet. Glasstaket på Teknostallen illustrerer hvordan glass kan brukes til å skape spennende og funksjonelle arkitektoniske løsninger. For å sørge for både sikkerhet og funksjonalitet må ulike tekniske løsninger, som dreneringssystemer og U-verdi på glass tas hensyn til. Samlet sett viser rapporten at med riktig prosjektering og bruk kan glasstak tilby betydelige fordeler, men krever grundig vurdering av både tekniske og praktiske aspekter.

Skjerpede krav til varmeisolering og energieffektivitet i bygninger har økt fokuset på utførelsen av damp- og vindspærresjikt. Økt tetthet i bygninger kan derimot øke risikoen for fuktskader, ved at fuktighet i lufttette konstruksjoner akkumuleres på grunn av reduserte uttørkingsmuligheter. Statistikk presentert i oppgaven viser at fuktproblematikk er et viktig tema å belyse. Fuktskader kan føre til alvorlige og kostbare problemer som muggdannelse, råte og svekket bygningsintegritet. Disse faktorene forverrer innemiljøet. Å forstå mekanismene bak fukttransport, som dampdiffusjon og fuktkonveksjon, er derfor avgjørende. Effektive tiltak som bruk av dampsperrer og vindsperrer er essensielt for å hindre at fukt trenger inn i konstruksjonen. Innovasjoner som smarte dampsperrer kan bidra til å håndtere fukt ved å tilpasse seg ulike fuktighetsnivå, og dermed redusere risikoen for skade i kompakte tak.

Byggingen av Teknostallen er en prosess som går over lengre tid med endringer underveis. Løsninger som prosjekteres i tidlig fase oppdateres for å imøtekomme nye behov som oppdages. Derfor er det viktig at oppdatert data for prosjektet benyttes når løsningene analyseres. For arbeidet med oppgaven har NCC gitt tilgang til relevant informasjon gjennom blant annet BIM-modell, oversikts- og detaljtegninger og leveransebeskrivelse. Det ble vurdert som strategisk å ikke motta for mye informasjon slik at det var enklere å navigere i datagrunnlaget. Samtidig kunne analyser av løsninger vært mer presise dersom detaljerte materialister ble lagt til grunn i vurderingene. Avveining av hvilken informasjon som er nødvendig ble kontinuerlig vurdert og gruppen fikk rask tilgang til de dokumentene som ble etterspurt. For å gjennomføre oppgaven er det hensiktsmessig å ta utgangspunkt i angitte bygningstekniske løsninger på et visst tidspunkt selv om de senere kan endres i byggeprosessen.

I forbindelse med litteratursøket ble det tydelig at kvantiteten på informasjonsgrunnlaget er varierende for de ulike taktypene. For kompakte og blågrønne tak er det publisert mange studier som analyserer tekniske aspekter, mens det er mindre tilgjengelig litteratur om bruk av glass i takkonstruksjoner. Dette medfører at bredden på kunnskapsinnhenting for hvordan detaljer bør utføres varierer noe mellom ulike elementer på taket. Siden glasstak muliggjør innslipp av dagslys i store bygninger kan det være hensiktsmessig med videre studier som analyserer de bygningstekniske risikomomentene ved denne taktypen. Ved statistikkinnhenting var det utfordrende å finne informasjon om årsaker til fuktskader i tak. Noe data om fuktskader generelt

ble innhentet, men for å utvikle god bygningsteknisk praksis for bygging av tak bør det i fremtiden utvikles mer statistikk over årsakssammenhengene.

I løpet av prosjektarbeidet fikk gruppen mulighet til å delta på en befaring på taket på Teknostallen. Dette var informativt og satte problemstillingen i en mer praktisk og tydelig kontekst. Siden prosjektet fortsatt er i byggefasen var det mulig å legge merke til detaljløsninger som ved ferdig bygg vil være tildekt. På denne måten ble det innhentet kunnskap om hvordan takets ulike sjikt bygges opp før det øverste dekket monteres. Det ble gitt tillatelse til å ta bilder av løsningene på taket. Disse ble nyttige for videre arbeid med oppgaven ved at de bidro til å oppklare hvilke løsninger som er valgt, samtidig som de benyttes som forklarende illustrasjoner i rapporten. For å danne en mer helhetlig forståelse av takkonstruksjonen ville det vært interessant å se taket når byggefasen er over.

I forbindelse med simuleringer i WUFI ble det oppdaget flere usikkerhetsmomenter. Siden tegningsgrunnlag fra NCC ble forenklet til kompakt tak uten grønt dekke, vil den faktiske oppbyggingen resultere i fuktforhold med visse avvik fra utførte beregninger. Samtidig er taket på Teknostallen ikke ferdigstilt. Derfor kan endelig løsning være noe ulik tegningsgrunnlaget på nåværende tidspunkt.

For simuleringen kunne det vært interessant å produsere data for komplett takkonstruksjon med blågrønt dekke, samt avrenning ved fall. Dette er likevel en komplisert prosess da blågrønne tak kan bygges opp på mange måter. De ulike lagenes egenskaper med tanke på fordrøyning og avrenning varierer mye ut fra valgte produkter og ikke alle er registrert i materialbiblioteket i programmet. Enkeltprodukter som isolasjon og membran har varierende damptetthet avhengig av hvilken leverandør som benyttes. Derfor kan endringer av materialer i oppbyggingen påvirke fuktverdier i konstruksjonen. Dersom produktegenskaper skal legges inn manuelt kreves det tilstrekkelig informasjonsgrunnlag om produktene.

Arbeid i byggefase vil også påvirke de faktiske verdiene, da grundig utførelse av taket påvirker sjiktens tetthet og avrenning. En feilkilde er at det i byggefasen kan oppstå fuktinnhold som er ulikt antatte verdier, som påvirker startnivået for beregningene. Samtidig vil innetemperatur under taket variere, i tillegg til at fukttilførselen i rommene er avhengig av bruk. Dersom arealene i fremtiden benyttes til aktiviteter med endret fuktbelastning vil det påvirke fukttransporten i taket. Oppbygging av himling under betongdekket endrer betingelsene på

innvendig side. Fuktttransport gjennom konveksjon påvirker taket selv om det er kompakt. I simuleringen er hulldekket av betong forenklet til et tynnere betongdekke. Hulrommene i hulldekket medfører endrede forutsetninger for fukttransport og forenklingen øker derfor usikkerheten i resultatene. Dette er samtidig aktuelt i områder der unøyaktig utførelse medfører små hulrom, for eksempel mellom isolasjonsplater.

Simuleringen i THERM gir resultater med en viss usikkerhet. Nedløpsrøret fra sluk er modellert som et hulrom. Utforming av sluk og nedløpsrør, samt hvilke materialer de er laget av, påvirker varmeoverføringen i dette området. Inneluftens temperatur vil variere, og kan endre temperaturen på lufta i nedløpsrøret. Dette er avhengig av rørmaterialets varmeledningsevne. Beregningene er basert på detaljtegning for sluk produsert av NCC. I tegningen er det angitt at isolasjonstykkelsen i nedsenkningen ved sluk skal være minimum 100 mm. Dersom det velges å benytte større tykkelser enn dette fraviker inndataene ytterligere sammenlignet med forutsetningene simuleringene er basert på.

Bærelaget av hulldekker er forenklet til et tynnere betongdekke. Dette endrer betingelsene for varmetransporten i taket. De øvre lagene på taket består blant annet av jord og drenerende masser. Den termiske konduktiviteten til disse materialene er avhengig av fuktinnhold, og resultatene er derfor sårbare for værvariasjoner. Simuleringene viser hvordan snøens grad av kompaktet og termiske konduktivitet påvirker temperaturen og snøsmeltingen ved sluk. I THERM er det anlagt et jevnt snølag på taket. I realiteten kan vind og takets utforming over sluk føre til at snøen legger seg ujevnt med mer snø i visse områder. Dette gir flere variabler for frostsikringen ved sluk.

Rommene under taket vil ha visse temperaturvariasjoner, samtidig som oppbyggingen av himling ikke er inkludert i simuleringene. Disse variablene gir økt usikkerhet. Undersøkelsen av de termiske forholdene ved sluk fremstiller ikke nøyaktige tall for temperaturer, men gir et grunnlag for sammenligning av hvordan snø påvirker takets overflatetemperatur.

11.0. Konklusjon

Fremtidens tak på bygninger i urbane områder må ivareta mange hensyn for å oppfylle sin funksjon. Kompakte tak er mye brukt på store bygninger blant annet fordi de har høy energieffektivitet og enkelt danner et fuktsperrende sjikt. Ved å montere en blågrønn konstruksjon på det kompakte taket åpnes det opp for nye muligheter på takarealet i form av frodige rekreasjonsområder og forbedret overvannshåndtering. På grunn av økende nedbørmengder og ekstremvær som følge av klimaendringer er dette en egenskap som blir viktigere i årene som kommer. En annen utfordring for store bygninger er å innfri kravene til dagslys, men ved å benytte glasstak kan bygninger gis flere designmuligheter og samtidig innfri kravene.

Teknostallen er et bygg som inkluderer alle disse aspektene. Taket på Teknostallen er et eksempel på hvordan grøntareal ikke bare kan bevares, men også skapes. Byggets sentrale plassering i Trondheim gjør utnyttelsen av takarealet for rekreasjon verdifull siden området er nært brukerne. Ved å integrere både treningsapparater, løpebane, dyrkningsområde og område for sosialisering utvikles et innovativt prosjekt som kan inspirere aktører i lignende byggeprosjekter til å utnytte takarealene på en fremtidsrettet måte.

Det endelige svaret på hvordan løsningene på Teknostallen fungerer får man først om flere år. Da kan prosjektet inkluderes i erfaringsgrunnlaget for nye prosjekter. Det vil være interessant å undersøke både takets tekniske tilstand og hvordan brukerne av bygget, samt eierne, opplever at løsningene fungerer sammenlignet med forventninger og krav.

Referanser

- [1] Universitetet i Oslo, «Evapotranspirasjon,» Februar 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/e/evapotranspirasjon.html>. [Funnet Mai 2024].
- [2] Tekna - Teknisk-naturvitenskapelig forening, «Kompakte tak,» 2024. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/kompakte-tak/>. [Funnet april 2024].
- [3] SINTEF, «Byggforskserien 525.002: Takformer, taktyper og oppbygning,» februar 2018. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/381/takformer_taktyper_og_oppbygning. [Funnet april 2024].
- [4] TEKK, «Flate tak,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://tekk.as/flate-tak/>. [Funnet mai 2024].
- [5] Byggeindustrien, «ZEB-laboratoriet,» 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.bygg.no/zeb-laboratoriet/1463942!/?image=0>. [Funnet april 2024].
- [6] SINTEF, «Byggforskserien 525.207: Kompakte tak,» April 2018. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak. [Funnet april 2024].
- [7] SINTEF, «Byggforskserien: Takkonstruksjoner,» 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.byggforsk.no/nyheter/2/takkonstruksjoner/1559>. [Funnet april 2024].
- [8] SINTEF, «Byggforskserien 725.118: Skader i kompakte tak. Årsaker og utbedring,» 2012. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/687/skader_i_kompakte_tak_aarsaker_og_utbedring. [Funnet mai 2024].
- [9] SINTEF, «Byggforskserien 573.121: Materialer til luft- og dampetting,» 2003. [Internett]. Tilgjengelig: https://byggforsk.no/dokument/598/materialer_til_luft_og_dampetting#. [Funnet Mai 2024].
- [10] SINTEF, «Unngå byggskader på flate tretak,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/sintef-community/fagblogg/poster/unnga-byggskader-pa-flate-tretak/>. [Funnet april 2024].

- [11] Store norske leksikon, «Mineralull,» 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://snl.no/mineralull>. [Funnet april 2024].
- [12] Sundolitt, «Mineralull, MW30,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sundolitt.com/no/sundolitt/norway/tak/kompakte-tak/mw30/>. [Funnet april 2024].
- [13] Soprema, «Vi forklarer forskjellen mellom EPS- og XPS-isolasjon,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.soprema.no/no/article/blogg-og-nyheter/forskjellen-mellom-eps-og-xps-isolasjon>. [Funnet april 2024].
- [14] Sundolitt, «EPS S60,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sundolitt.com/no/sundolitt/norway/standard-eps-og-xps/sundolitt-eps/eps-s60/>. [Funnet april 2024].
- [15] Byggoutlet, «BEWI XPS300 100x585x1185mm Fals,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://byggoutletnorge.no/produkt/bewi-xps300-1185x585x100mm-fals/>. [Funnet Mai 2024].
- [16] Isopartner, «PUR eller PIR isjolasjon?,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.isopartner.no/nb/nyheter/pur-eller-pir-isolasjon>. [Funnet april 2024].
- [17] Finnfoam, «FF-PIR-isolasjonsmaterialer i polyuretan for termisk isolering av utvendige vegger,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.finnfoam.no/bruksomrader/vagg/ff-pir-isolasjonsmaterialer-i-polyuretan-for-termisk-isolering-av-utvendige-vegger>. [Funnet april 2024].
- [18] The Norwegian EPD Foundation, «Environmental product declaration, ROCKWOOL Hardrock ENERGY (1500mm) for the Norwegian market,» 12 januar 2023. [Internett]. Tilgjengelig: <https://p-cdn.rockwool.com/syssiteassets/o2-rockwool/dokumentasjon-og-sertifikater/dokumentasjon/epd-miljodeklarasjon/epd-55684-rockwool-hardrock-energy-150mm-for-the-norwegian-market-r1.pdf?f=20230125093149>. [Funnet mai 2024].
- [19] The Norwegian EPD Foundation, «Environmental product declaration,» 8 juni 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://media.bluestonepim.com/9056b428-dfaf-419e-92db-cd75e7ff9831/5b783651-d4fc-460b-9d5b-2dc702966106/eld6yYAHx8YVsPuqmHhyg2OvB/HFYRF5HzeFXfnczgw8VW5QphQ.pdf>. [Funnet mai 2024].
- [20] The Building Information Foundation RTS, «Environmental product declaration, Finnfoam XPS Insulation,» 10 juni 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://media.bluestonepim.com/9056b428-dfaf-419e-92db-cd75e7ff9831/96279fcf-4e93-442f-bcb3->

e6bdf2bcb4c/BaDjopuhQ3Pl56C2S5zKcsEYF/V0PA6DkZapzEraXxnCgAhoCZV.pdf.
[Funnet mai 2024].

- [21] The Building Information Foundation RTS, «Environmental product declaration, FF-PIR Polyurethane Insulation,» 23 juli 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://cdn.byggjeneste.no/nobb/9e25e211-5ef6-4d2a-b919-08f5c2bb95dd>. [Funnet mai 2024].
- [22] AS Rockwool, «HardRock Energy,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.rockwool.com/no/produkter-og-konstruksjoner/produkter/flate-tak/hardrock-energy-2/#Tekniskeegenskaper&sortiment>. [Funnet mai 2024].
- [23] Montér, «Glava EPS S80 isolasjon 100x600x1200 mm,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.monter.no/byggevarer/isolasjon-og-byggfolie/grunnisolasjon/eps-s80-isolasjon-100x600x1200-mm/>. [Funnet mai 2024].
- [24] Montér, «Vartdal Plast XPS isolering med L-fals,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.monter.no/byggevarer/isolasjon-og-byggfolie/grunnisolasjon/xps-isolering-med-l-fals-300140-kpa-100x585x2385-mm/>. [Funnet mai 2024].
- [25] TIL-TAK AS, «PIR Isolasjon,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://til-tak.no/isolering/termpir-al/>. [Funnet mai 2024].
- [26] SINTEF, «Byggforskserien 544.202: Takfolie. Egenskaper og tekking,» 2011. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/503/544202_takfolie_egenskaper_og_tekking. [Funnet april 2024].
- [27] Mataki, «Takbelegg og membraner til flate tak og dekker,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.mataki.no/produkter/flate-tak-og-membraner/takbelegg-flate-tak>. [Funnet Mai 2024].
- [28] Protan, «Protan SE 1,6 Coolroof F01 2 m x 20 m,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.protan.no/produkter/tak-og-membraner/eksponerte-tak/standard-rulleware/protan-se-16-ruller-i-standard-dimensjon/>. [Funnet Mai 2024].
- [29] Rockwool, «Isolering av kompakte tak,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://info.rockwool.no/no/takisolasjonsguiden/oversikt-over-losninger-og-produkter/isolering-av-kompakte-tak/>. [Funnet april 2024].
- [30] E. Andenæs, B. Time, T. Muthanna og Tore Kvande, «Risikorammeverk for blågrønne tak,» Klima2050, 2022.

- [31] H. G. Wells, «Standard for overvannshåndtering og grønne tak,» Oktober 2017. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.tekna.no/contentassets/c34c67c345524bca9c5a9d15c866c8fc/grc3b8nne-tak-ns-3840-tekna-2017_10_19.pdf. [Funnet April 2024].
- [32] E. Andenæs, «Risk assessment of blue-green roofs,» NTNU, Trondheim, 2021.
- [33] B. Time, B. Thodesen, H. T. T. Tajet, T. Kvande og J. Lohne, «Adapting Green-Blue Roofs to Nordic Climate,» 2018. [Internett]. Tilgjengelig: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2568506/NA%2b%2b2-2018%2b-%2b06%2bThodesen_Kvande_Tajet_Time_Lohne%2b%2528002%2529.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Funnet April 2024].
- [34] T. Muthanna og B. Time, «Publikasjoner fra CRISStin - SINTEF AS,» 2018. [Internett]. Tilgjengelig: https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2609388/16-Fra%252Bekspertene%252BNTNU_Byggeindustrien%252B2018%252B11_s37.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Funnet Mai 2024].
- [35] R. Kim, M. Shafique og D. Lee, «A Field Study to Evaluate Runoff Quantity from Blue Roof and Green Blue Roof in an Urban Area,» August 2016. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.researchgate.net/publication/307913657_A_Field_Study_to_Evaluate_Runoff_Quantity_from_Blue_Roof_and_Green_Blue_Roof_in_an_Urban_Area. [Funnet April 2024].
- [36] B. C. Braskerud, «Grønne tak for flomdemping,» Januar 2016. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.nve.no/Media/5036/overvann-gr%C3%B8nne-tak-for-flomdemping.pdf>. [Funnet April 2023].
- [37] I. Hanssen-Bauer, E. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J. Nilsen, S. Sandven, A. Sandø, A. Sorteberg og B. Ådlandsvik, «Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015,» Norsk klimaservicesenter, 2015.
- [38] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. § 15-8. Utvendig avløpsanlegg med ledningsnett. Overvann og drenevann,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/15/iii/15-8>. [Funnet April 2024].
- [39] SINTEF, «Byggforskserien 544.823: Sedumtak,» November 2013. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/4093/544823_sedumtak. [Funnet April 2024].

- [40] SINTEF, «Byggforskserien 525.306: Terrasser med beplantning på bærende betongdekker,» Mars 2009. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/391/terrasser_med_beplantning_paa_baerende_betongdekker#i7. [Funnet April 2024].
- [41] Miljødirektoratet, «Vegetasjon til grønne tak,» 2016. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M627/M627.pdf>. [Funnet April 2024].
- [42] «Green Roof Guidelines: Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs,» Landscape Development and Landscaping Research Society e.V. (FLL), 2018.
- [43] B. C. Braskerud, «Grønne tak og styrtregn,» 2014. [Internett]. Tilgjengelig: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_65.pdf. [Funnet Mai 2024].
- [44] V. Hamouz og T. M. Muthanna, «Modelling of Green and Grey Roofs in Cold Climates Using EPA's Storm Water Management Model: UDM 2018,» Springer International Publishing, 2019.
- [45] K. Elvebakk, B. Time, P. M. Skjeldrum og T. Kvande, «Ombygging til blågrønne og blågrå tak. Problemstillinger og sjekklistor,» 2018. [Internett]. Tilgjengelig: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2504002/klima%2b2050%2breport%2bno%2b10.pdf>. [Funnet April 2024].
- [46] I. Rambæk, «Unngå skader på blågrønne tak: nytt rammeverk for prosjektering,» 28 Oktober 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/unnga-skader-pa-blagronne-tak-nytt-rammeverk-for-prosjektering/>. [Funnet April 2024].
- [47] University of Maryland, «Tree Problems Caused by Excess Water,» Februar 2023. [Internett]. Tilgjengelig: <https://extension.umd.edu/resource/tree-problems-caused-excess-water/>. [Funnet April 2024].
- [48] Takprodusentenes Forskningsgruppe, «Bygningsmessige aspekter ved prosjektering og bygging av grønne tak,» Desember 2019. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.tpf-info.org/_files/ugd/74c3c7_608106c5a1d1448abd8c4317c04fd6f7.pdf. [Funnet April 2024].
- [49] T. Muthanna og B. Time, «Fordrøyende tak,» 2018. [Internett]. Tilgjengelig: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2609388/16->

Fra%252Bekspertene%252BNTNU_Byggeindustrien%252B2018%252B11_s37.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Funnet April 2024].

- [50] I. Pittaluga, C. Schenone og D. Borelli, «Sound absorption of different green roof systems,» 2011. [Internett]. Tilgjengelig: <https://pubs.aip.org/asa/poma/article/14/1/015005/994616/Sound-absorption-of-different-green-roof-systems>. [Funnet Mai 2024].
- [51] G. Mihalakakou, M. Souliotis, M. Papadaki, P. Menounou, P. Dimopoulos, D. Kolokotsa, J. A. Paravantis, A. E. Tsangrassoulis, G. Panaras, E. Giannakopoulos og S. Papaefthimiou, «Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives,» April 2023. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123001624#sec5>. [Funnet Mai 2024].
- [52] M. Connelly og M. Hodgson, «Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs,» 2013. [Internett]. Tilgjengelig: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271440/1-s2.0-S0003682X13X00064/1-s2.0-S0003682X13000777/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEGEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQD%2FUflDU%2FrXY3u0fB%2FUfbitlppipX4r%2FdNFAH72CbRrXgIhANvSve2cnyAT9Xkj1QrHfxoNMWIEpofE%2F>. [Funnet Mai 2024].
- [53] R. L. Nygård, «Unngå byggskader på glasstak,» SINTEF, desember 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/unnga-byggskader-pa-glasstak/>. [Funnet april 2024].
- [54] Glass&Fasade, «Glasstak må tettes,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.glassogfasade.no/glasstak-ma-tettes/>. [Funnet april 2024].
- [55] SINTEF, «Byggforskserien 527.231: Glassgårder i store bygg. Temperatur- og energiforhold,» 1996. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/421/glassgaarder_i_store_bygg_temperatur_og_energiforhold . [Funnet april 2024].
- [56] SINTEF, «Byggforskserien 527.311: Lydregulering og støydemping i glassoverbygde arealer,» 2007. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/429/lydregulering_og_stoeydemping_i_glassoverbygde_arealer . [Funnet april 2024].
- [57] SINTEF, «Byggforskserien 525.775: Overlyselementer på kompakte tak,» februar 2022. [Internett]. Tilgjengelig:

- https://www.byggforsk.no/dokument/395/overlyselementer_paa_kompakte_tak .
[Funnet april 2024].
- [58] R. L. Nygård, «Unngå byggskafer på glasstak,» SINTEF, 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/unnga-byggskafer-pa-glasstak/>. [Funnet april 2024].
- [59] Arbeidstilsynet, «Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidlokaler (arbeidsplassforskriften) §2-11. Belysning,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/arbeidsplassforskriften/2/2-11/>. [Funnet april 2024].
- [60] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning §13-7. Lys,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/v/13-7>. [Funnet april 2024].
- [61] J. V. Thue, i *Bygningsfysikk Grunnlag*, Fagbokforlaget, 2016, pp. 435-439.
- [62] R. K. Waskett, «Hoare Lea: Why does daylight matter in buildings?,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://hoarelea.com/2018/09/07/the-power-of-daylight-design/>. [Funnet april 2024].
- [63] SINTEF, «Byggforskserien 421.602: Dagslys. Egenskaper og betydning.,» 2001. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/200/dagslys_egenskaper_og_betydning. [Funnet april 2024].
- [64] Renzo Piano Building Workshop, «The Menil Collection,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.rpbw.com/project/the-menil-collection>. [Funnet april 2024].
- [65] L. Holm, «Glass som byggemateriale: Rask utvikling som ikke gjenspeiler seg i markedet,» *Fremtidens byggenæring*, 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.fremtidensbygg.no/glass-som-byggemateriale-rask-utvikling-som-ikke-gjenspeiler-seg-i-markedet/>. [Funnet april 2024].
- [66] Yongyu Glass Products, «Elektrokromatisk glass,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.yongyuglass.com/no/electrochromic-glass-product/>. [Funnet mai 2024].
- [67] J. V. Thue, i *Bygningsfysikk Grunnlag*, Fagbokforlaget, 2016, p. 289.
- [68] SINTEF, «Byggforskserien 421.132: Fukt i bygninger. Teorigrunnlag,» 2018. [Internett]. Tilgjengelig: https://byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag . [Funnet mai 2024].

- [69] J. V. Thue, i *Bygningsfysikk Grunnlag*, Fagbokforlaget, 2016, pp. 52, 110-111, 302.
- [70] Bedre Inneklima AS, «Det du bør vite om luftfukter,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://bedre-inneklima.no/det-du-bor-vite-om-luftfukter/>. [Funnet mai 2024].
- [71] J. V. Thue, i *Bygningsfysikk Grunnlag*, Fagbokforlaget, 2016, p. 285.
- [72] L. Gullbrekken, «Fuktadaptiv dampspærre - funksjon, erfaringer og mulige bruksområder,» SINTEF, 2021.
- [73] SINTEF, «Byggforskserien 544.204: Tekking med asfaltbelegg eller takfolie. Detaljløsninger.,» 2008. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/505/tekking_med_asfalttakbelegg_eller_takfolie_detaljloesninger. [Funnet mai 2024].
- [74] Fuktstopper AS, «Årsaker til fukt,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://fuktstopper.no/fukt-i-kjeller/arsaker-til-fukt/>. [Funnet mai 2024].
- [75] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning § 13-9. Generelle krav om fukt.,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/13/vi/13-9>. [Funnet april 2024].
- [76] T. K. Nora Schjøth Bunkholt, «Mer regn, men bedre bygningsregelverk,» *Byggeindustrien*, vol. 2020, nr. 19, p. 22, 2020.
- [77] SINTEF, «Byggforskserien 700.110 Byggskader. Oversikt.,» 2010. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/629/byggskader_oversikt. [Funnet mai 2024].
- [78] Tekna - Teknisk-naturvitenskapelig forening, «Slik unngår du fukt i vegger og tak,» 2021. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/slik-unngar-du-fukt-i-vegger-og-tak/>. [Funnet mai 2024].
- [79] T. W. Hutchinson, «Roof Rot: Ignorance is an easy way to damage low-slope residential roofs,» mars 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://roofingmagazine.com/roof-rot-ignorance-easy-way-damage-low-slope-residential-roofs/>. [Funnet mai 2024].
- [80] K. Nordeng, «Dampspærre i tak,» Byggforsk, Norges byggforskningsinstitutt, 1995.
- [81] PROGEO, «PROGEO - Technology,» [Internett]. Tilgjengelig: <https://progeo.com/en/technology/>. [Funnet april 2024].

- [82] Windows & Daylighting, «THERM Software Downloads,» 2024. [Internett]. Tilgjengelig: <https://windows.lbl.gov/therm-software-downloads>. [Funnet mai 2024].
- [83] Norsk klimaservicesenter, «Nedbørintensitet (IVF-verdier),» Desember 2022. [Internett]. Tilgjengelig: <https://klimaservicesenter.no/ivf?locale=nb&locationId=SN68170>. [Funnet Mai 2024].
- [84] SINTEF, «Byggforskserien 421.505 Godt inneklima i yrkesbygninger,» Mai 2017. [Internett]. Tilgjengelig: https://www.byggforsk.no/dokument/195/godt_inneklima_i_yrkesbygninger. [Funnet Mai 2024].
- [85] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift. § 13-4. Termisk inneklima,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/ii/13-4>. [Funnet Mai 2024].
- [86] F. B. Gelderblom og I. L. N. Granøien, «Reviderte støysoner for Trondheim,» Mai 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2623084>. [Funnet Mai 2024].
- [87] Grønn Byggallianse, «BREEAM-NOR 2016 for nybygg (SD5075 NOR Ver: 1.2.),» Juni 2019. [Internett]. Tilgjengelig: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>. [Funnet Mai 2024].
- [88] International WELL Building Institute, «Explore the Standard: WELL Building Standard,» 2020. [Internett]. Tilgjengelig: <https://standard.wellcertified.com/well>. [Funnet Mai 2024].
- [89] International Well Building Institute, «The WELL Building Standard,» 2016. [Internett]. Tilgjengelig: <https://standard.wellcertified.com/sites/default/files/The%20WELL%20Building%20Standard%20v1%20with%20May%202016%20addenda.pdf>. [Funnet Mai 2024].
- [90] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/15/iii/15-8>. [Funnet April 2024].
- [91] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift. Innledning til kapittel 11 Sikkerhet ved brann,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/innledning>. [Funnet April 2024].
- [92] Takprodusentenes Forskningsgruppe, «Branntekniske løsninger for kompakte tak og terrasser,» Mai 2023. [Internett]. Tilgjengelig: <https://www.tpf->

- info.org/_files/ugd/4f4d3a_b33c1fe5dbaf40ab9f0dbf48638905f9.pdf. [Funnet Mai 2024].
- [93] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. § 11-2. Risikoklasser,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig:
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2>. [Funnet Mai 2024].
- [94] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. § 11-3. Brannklasser,» 2017. [Internett]. Tilgjengelig:
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3>. [Funnet Mai 2024].
- [95] Glava AS, «Tåler glassull fukt?,» Desember 2022. [Internett]. Tilgjengelig:
<https://www.glava.no/kontakt-oss/vanlige-sporsmal/taler-glassull-fukt>. [Funnet Mai 2024].
- [96] SINTEF, «Riktig utforming av parapetbeslag,» Mars 2021. [Internett]. Tilgjengelig:
<https://www.sintef.no/sintef-community/fagblogg/poster/riktig-utforming-av-parapetbeslag/>. [Funnet Mai 2024].
- [97] SINTEF, «522.512 Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag. Målte verdier,» September 2016. [Internett]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/339/lydisolerende_etasjeskillere_med_trebjelkelag_maalte_verdier#fig222b. [Funnet Mai 2024].
- [98] SINTEF, «Byggforskserien 321.022: Oversikt over krav og løsninger ved brannteknisk prosjektering av bygninger,» September 2017. [Internett]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/3307/oversikt_over_krav_og_loesninger_ved_brannteknisk_prosjektering_av_bygninger#i56. [Funnet Mai 2024].
- [99] SINTEF, «Byggforskserien 520.339 Bruk av brennbar isolasjon i bygninger,» April 2021. [Internett]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/3212/bruk_av_brennbar_isolasjon_i_bygninger#i5. [Funnet Mai 2024].
- [100] SINTEF, «421.431 Lydisolering av gjennomføringer,» 2002. [Internett]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/3054/lydisolering_av_gjennomfoeringer. [Funnet Mai 2024].
- [101] SINTEF, «321.015 Planlegging av gode lydforhold i bygninger,» Mai 2020. [Internett]. Tilgjengelig:

https://www.byggforsk.no/dokument/77/planlegging_av_gode_lydforhold_i_bygninger#i27. [Funnet Mai 2024].

- [102] Klubben, «Fallunderlag Gummiheller 30mm,» [Internett]. Tilgjengelig:
<https://www.klubben.no/other-brands/31875x/fallunderlag-gummiheller-30mm-fallh%c3%b8yde-100-cm>
https://www.klubben.no/media/multicase/documents/9830x_aktivlekBruksanvisning_st%c3%b8matte.pdf . [Funnet April 2024].
- [103] Miljøstein, «Sjøsingel 8/16 Elvesingel Gulmix 15kg sekk,» [Internett]. Tilgjengelig:
Sjøsingel 8/16 Elvesingel Gulmix 15kg sekk - Benders | Miljøstein (miljostein.no) .
[Funnet April 2024].
- [104] Thaugland, «Royalimpregnert terrassebord,» [Internett]. Tilgjengelig:
<https://taugland.no/produktkategori/terrasse/royal-terrassebord/> . [Funnet April 2024].
- [105] UV-Systems, «Benefits of UV-Systems - In Brief,» [Internett]. Tilgjengelig:
<https://www.uv-system.com/technical.html>. [Funnet Mai 2024].

Vedlegg

Vedleggsnummer og tittel	Antall sider
Vedlegg 1 – Utdrag fra leveransebeskrivelse fra NCC/KLP	2
Vedlegg 2 – Data fra WUFI	20
Vedlegg 3 – Rapport fra WUFI, kompakt tak med EPS og XPS	20
Vedlegg 4 – Rapport fra WUFI, kompakt tak med PIR og mineralull	19
Vedlegg 5 – Lastplan fra NCC	1
Vedlegg 6 – Beregninger med THERM	9
Vedlegg 7 – Tegninger fra NCC	12
Vedlegg 8 – Plakat	1
Vedlegg 9 – Artikkel	2

Vedlegg 1

Utdrag fra leveransebeskrivelse
fra NCC/KLP

Vedlegg 1 Utdrag fra leveransebeskrivelse

BREEAM og WELL

162 BREEAM EXCELLENT

Prosjektet skal miljøsertifiseres med BREEAM NOR excellent iht. manual v.2016.

Byggherren er ansvarlig for å engasjere revisor.

Totalentreprenør har ansvar for oppfølging og gjennomføring av alle punkter tilknyttet ivaretagelse av BREEAM-krav slik at prosjektet blir godkjent som BREEAM-Excellent iht. poengstrategien som vedlegges kontrakt.

I løpet av samspillsfasen er Breeam-strategien bearbeidet og realitetsorientert. Prosjektet ligger nå på 77,6%. Poeng kan omfordeles såfremt klassifisering «Excellent» og total poengscore på over 70% oppnås.

Når det er både kontorarealer og næringsareal/butikker i bygget må det settes i gang 2 separate registreringer og prosesser dersom vi skal oppnå BREEAM-sertifisering på hele bygget.

Det er i samråd med KLP besluttet å trekke ut næringsarealene fra selve sertifiseringen.

163 WELL PLATINUM

Prosjektet skal sertifiseres til WELL – Platinum.

Well-sertifiseringer har som mål å identifisere, måle, verifisere og følge opp byggkvaliteter som påvirker helse og velvære for de som bruker bygget. Det har vært essensielt i Breeam og Well å prioritere de emnene og poengene som er komplementære og kompatible med hverandre for å få størst mulig effekt av tiltakene.

Etter en serie med særmøter og gjennomganger i samspillsfasen har prosjektet pt. 79,5 poeng som er rett under Platinum nivå. Det er 7 poeng ekstra i emnene *Air* og *Water* som innebærer målinger av luft og vann for bekreftelse på luft- og vannkvalitet. Sannsynligheten for å oppnå disse tilleggspoengene ansees som høy, og vi er dermed på Platinum-nivå i prosjektet.

Miljø

16 Miljø

- Totalentreprenør skal tilrettelegge for ombruk av bygningsmaterialer fra eksisterende bygningsmasse.
- Bygningen skal være energiklasse A.
- Det er medtatt lavkarbonklasse A på betong.
- Totalentreprenør skal bidra til å spre kunnskap om miljø- og bærekraft til bransjen og byen gjennom prosjektet.
- Prosjektet skal ha minimum 90% sorteringsgrad i gjennomførelsen.
- For å redusere energiforbruket i byggeperioden skal elektrisk oppvarming og varmepumper kombineres for oppvarming av bygget. Fjernvarme er ikke et alternativ på prosjektet.

Se for øvrig vedlegg «sjekkliste bærekraftig byggeplass» for andre miljømål.

Kilde:

NCC og KLP, «Teknostallen BT5 - Leveransebeskrivelse,» Trondheim, 14.12.2021.

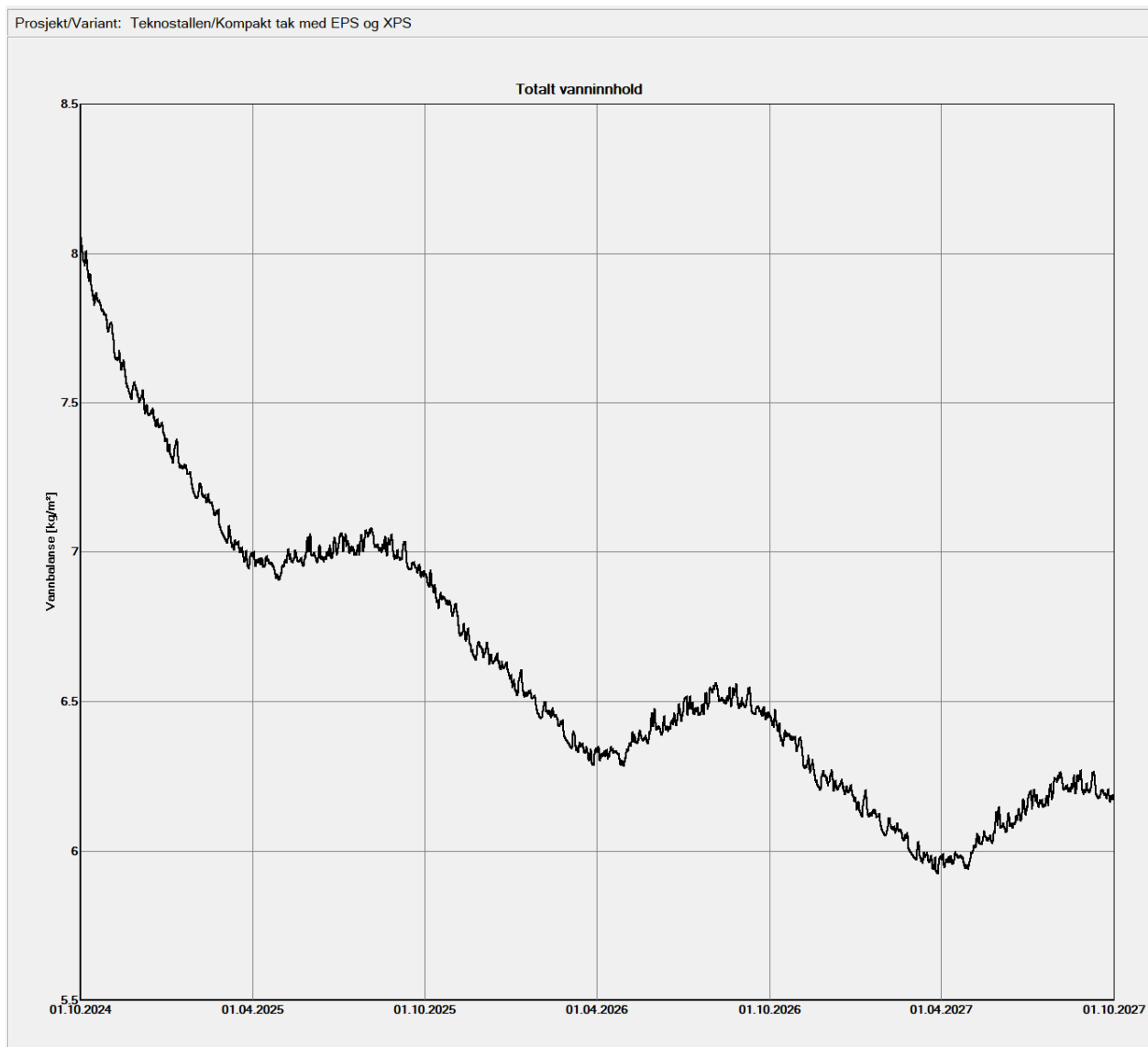
Vedlegg 2

Data fra WUFI

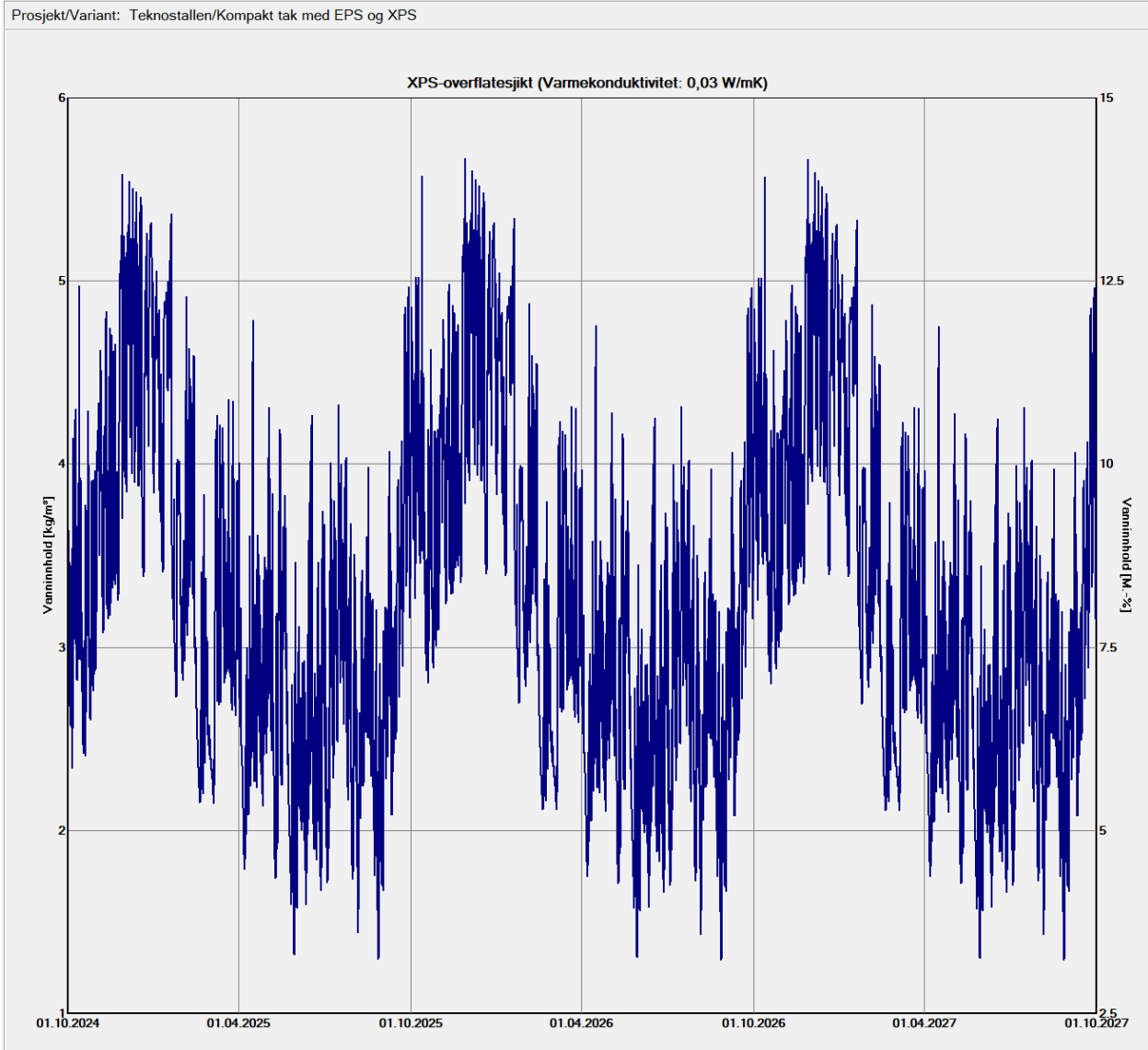
Vedlegg 2 Data fra WUFI

2.1 Kompakt tak med EPS og XPS

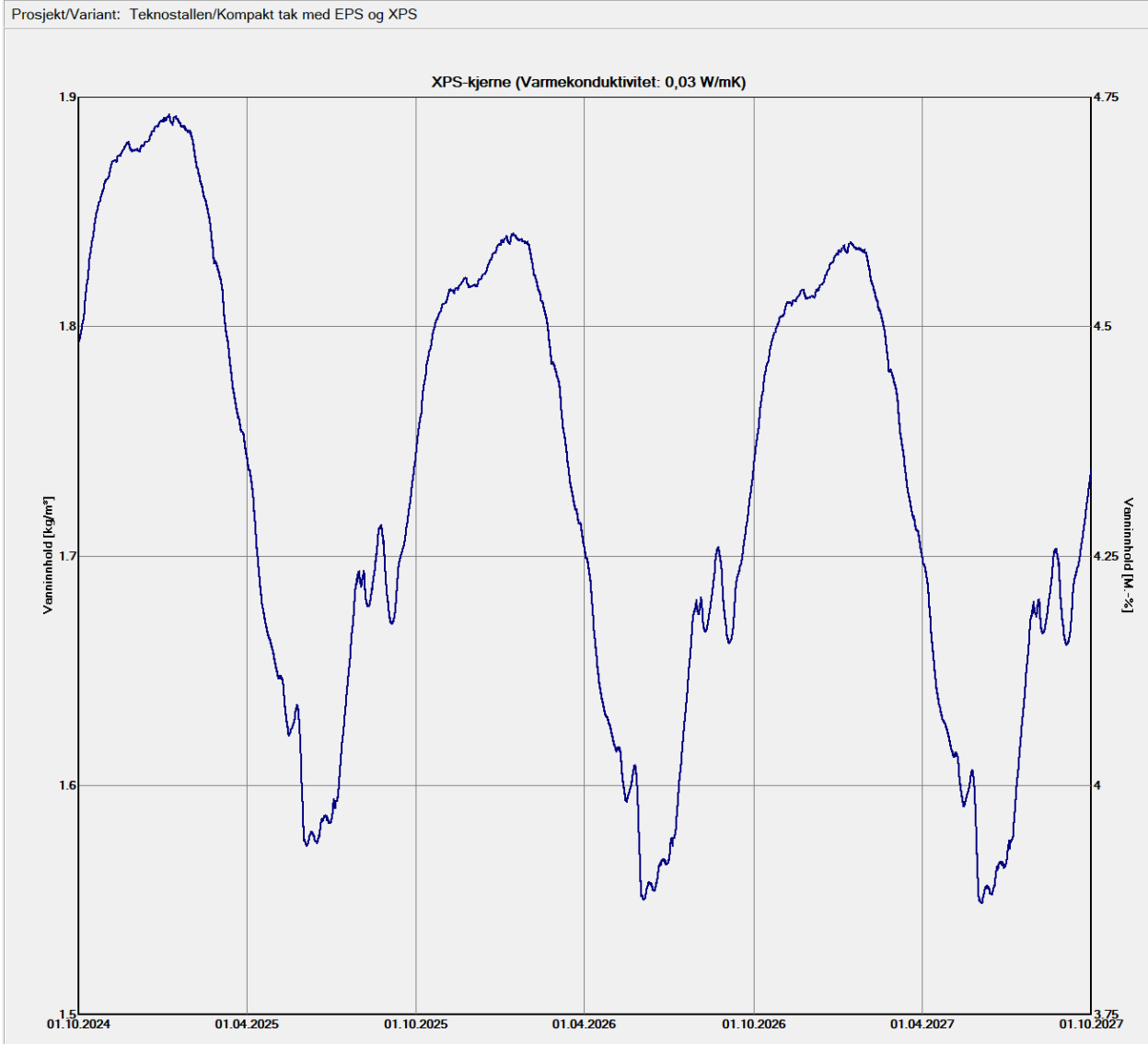
Totalt vanninnhold



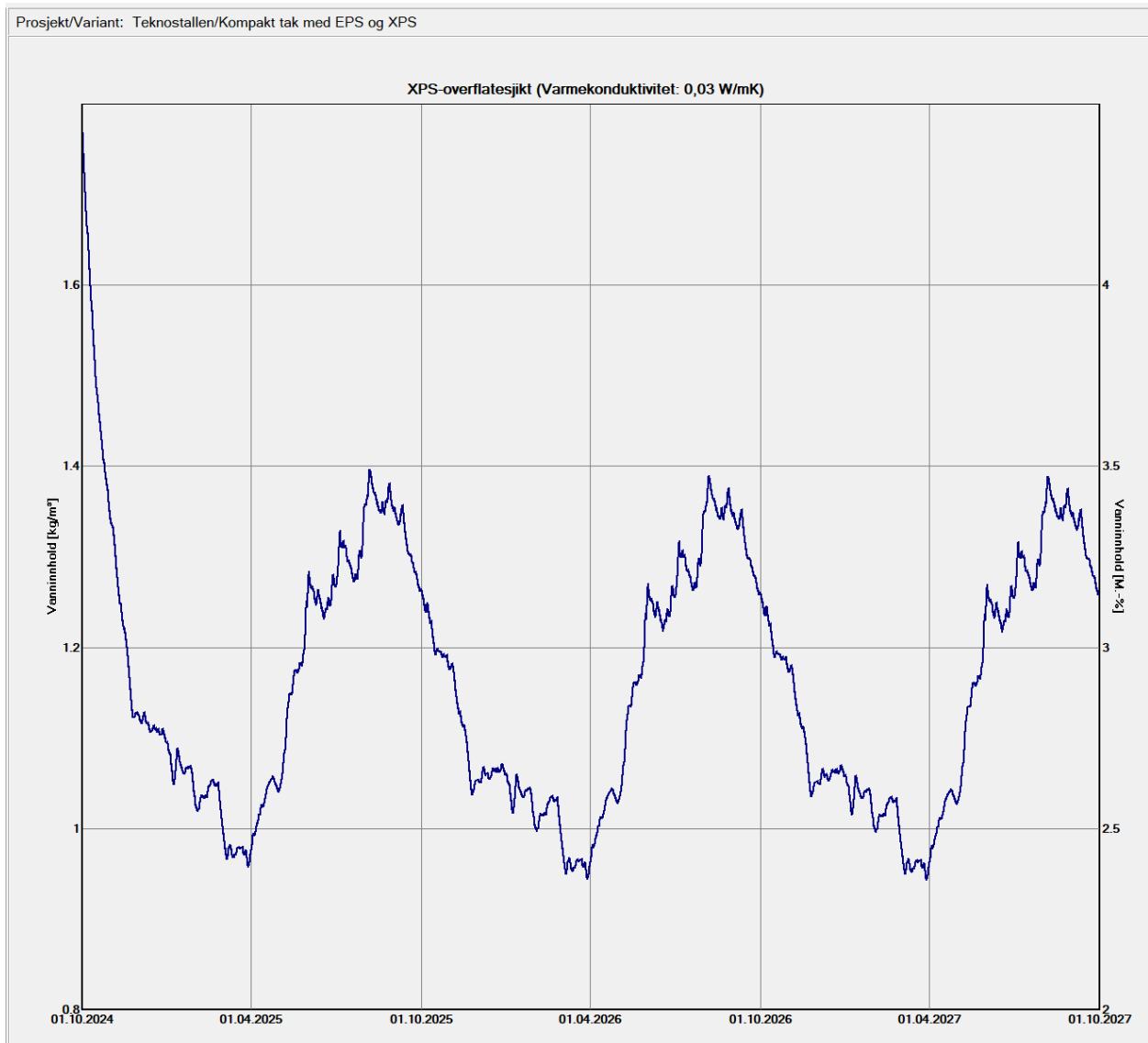
Vanninnhold XPS – øvre overflatesjikt



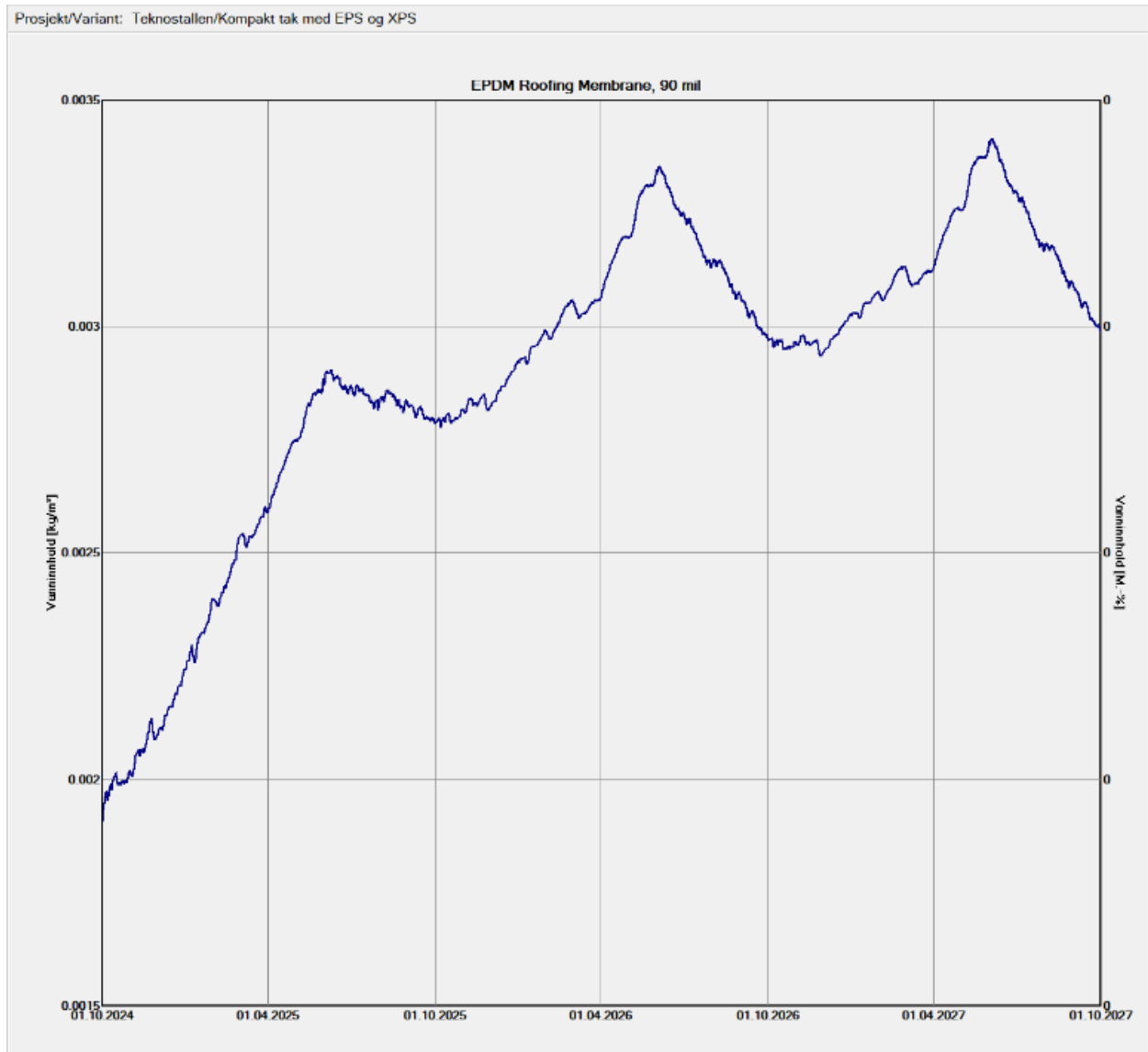
Vanninnhold XPS - kjerne



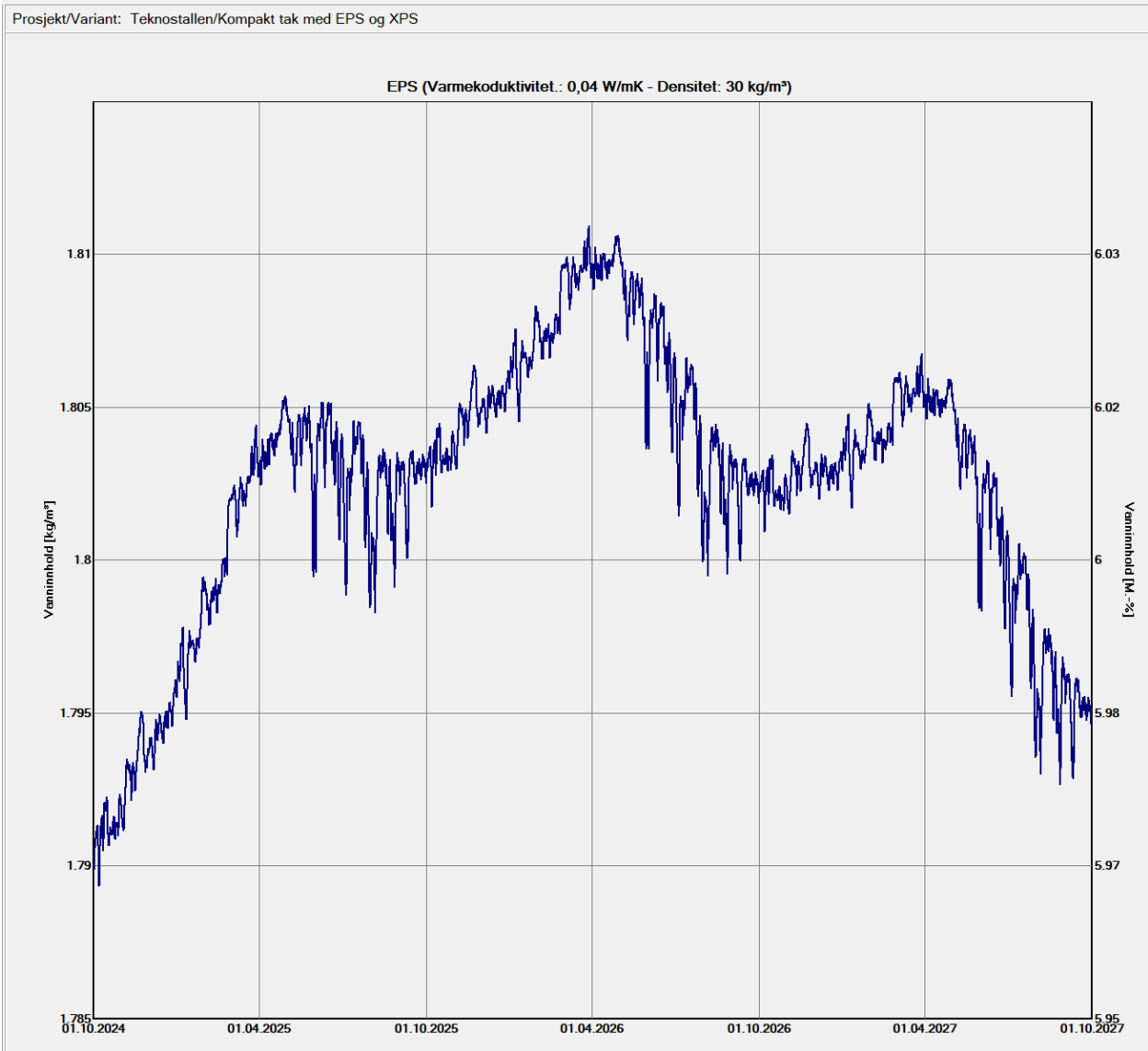
Vanninnhold XPS – nedre overflatesjikt



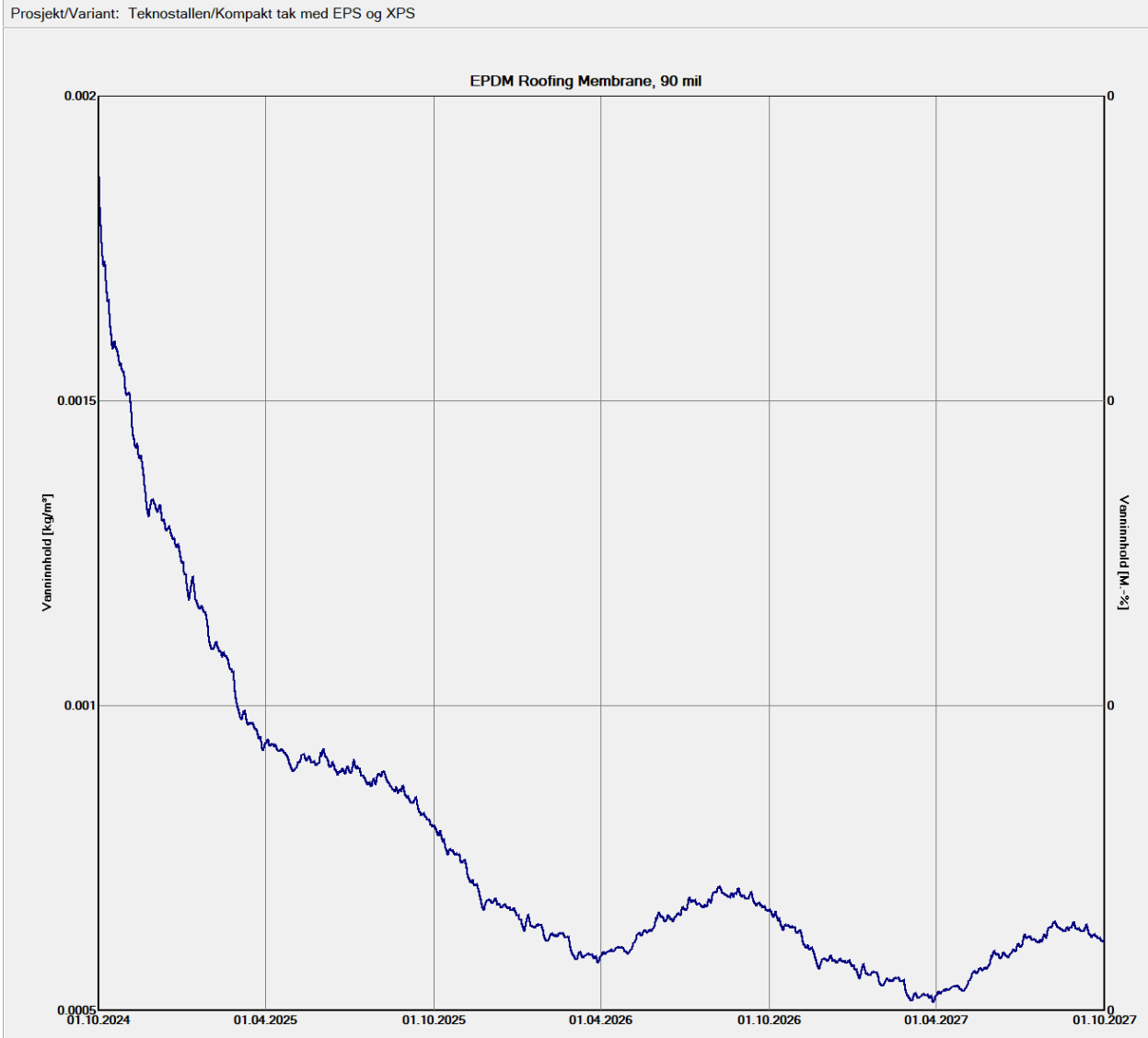
Vanninnhold øvre takmembran



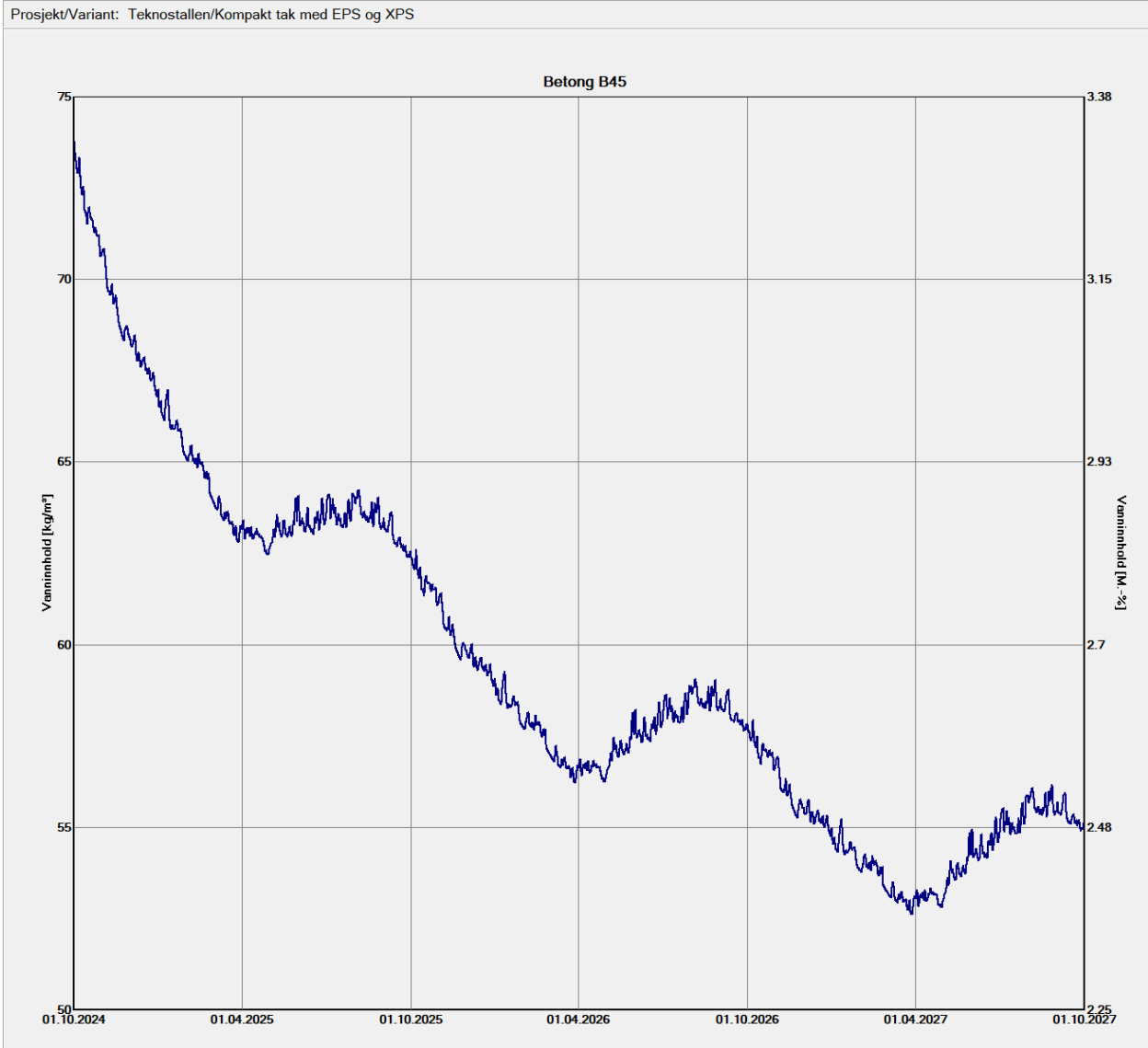
Vanninnhold EPS



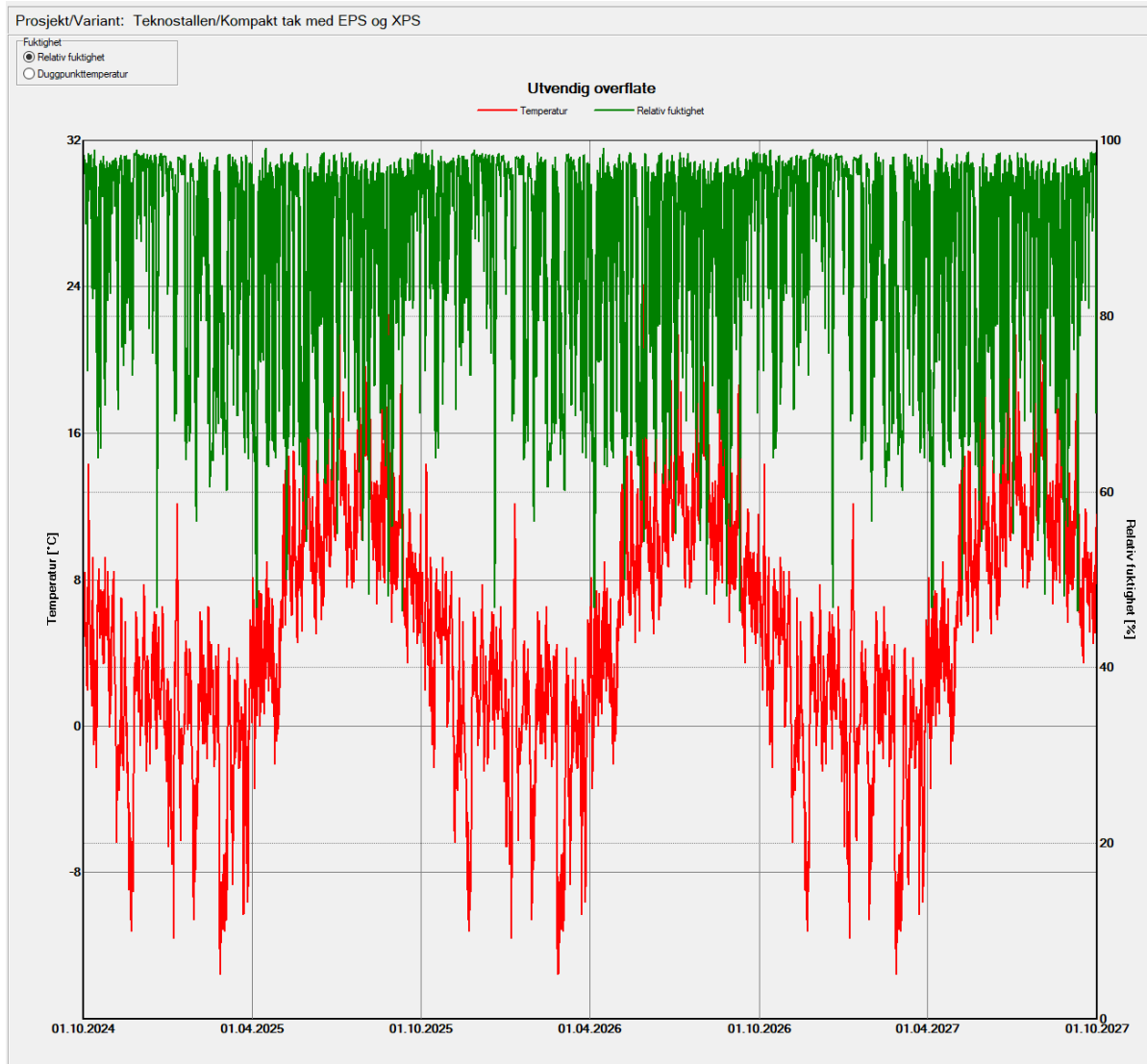
Vanninnhold nedre takmembran



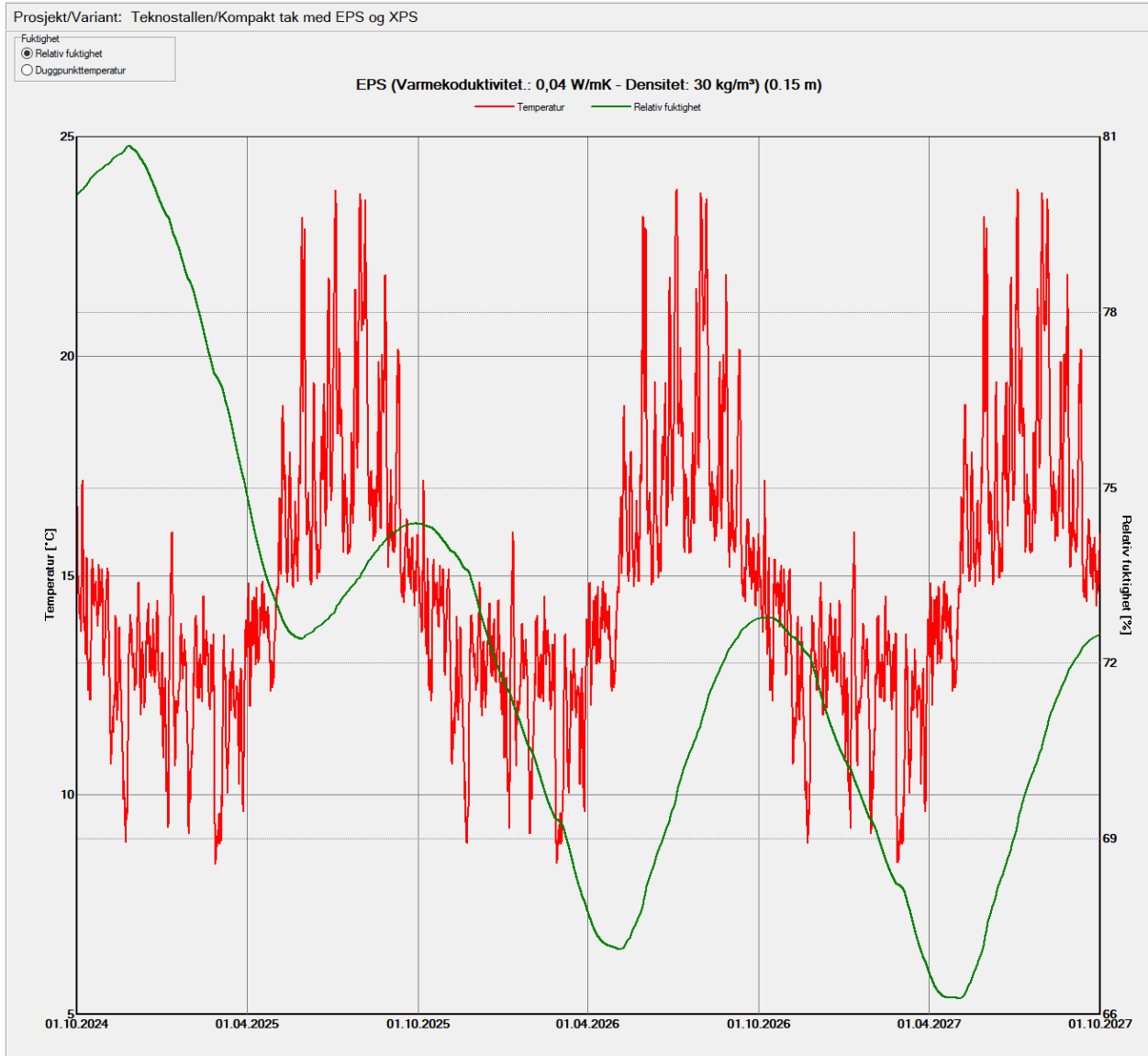
Vanninnhold betong



Relativ fuktighet og temperatur - Utvendig overflate



Relativ fuktighet og temperatur - EPS

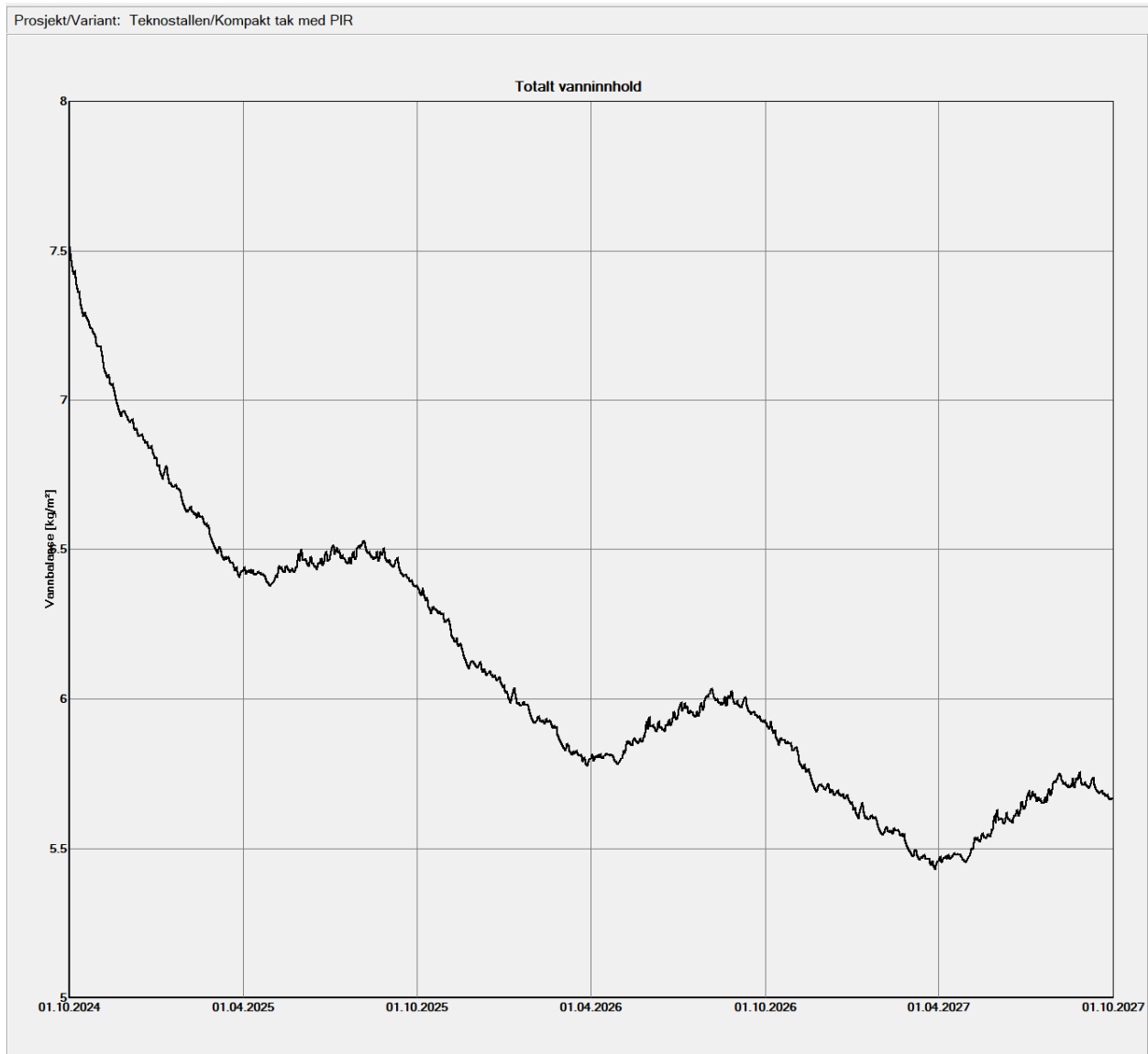


Relativ fuktighet og temperatur – Innvendig overflate

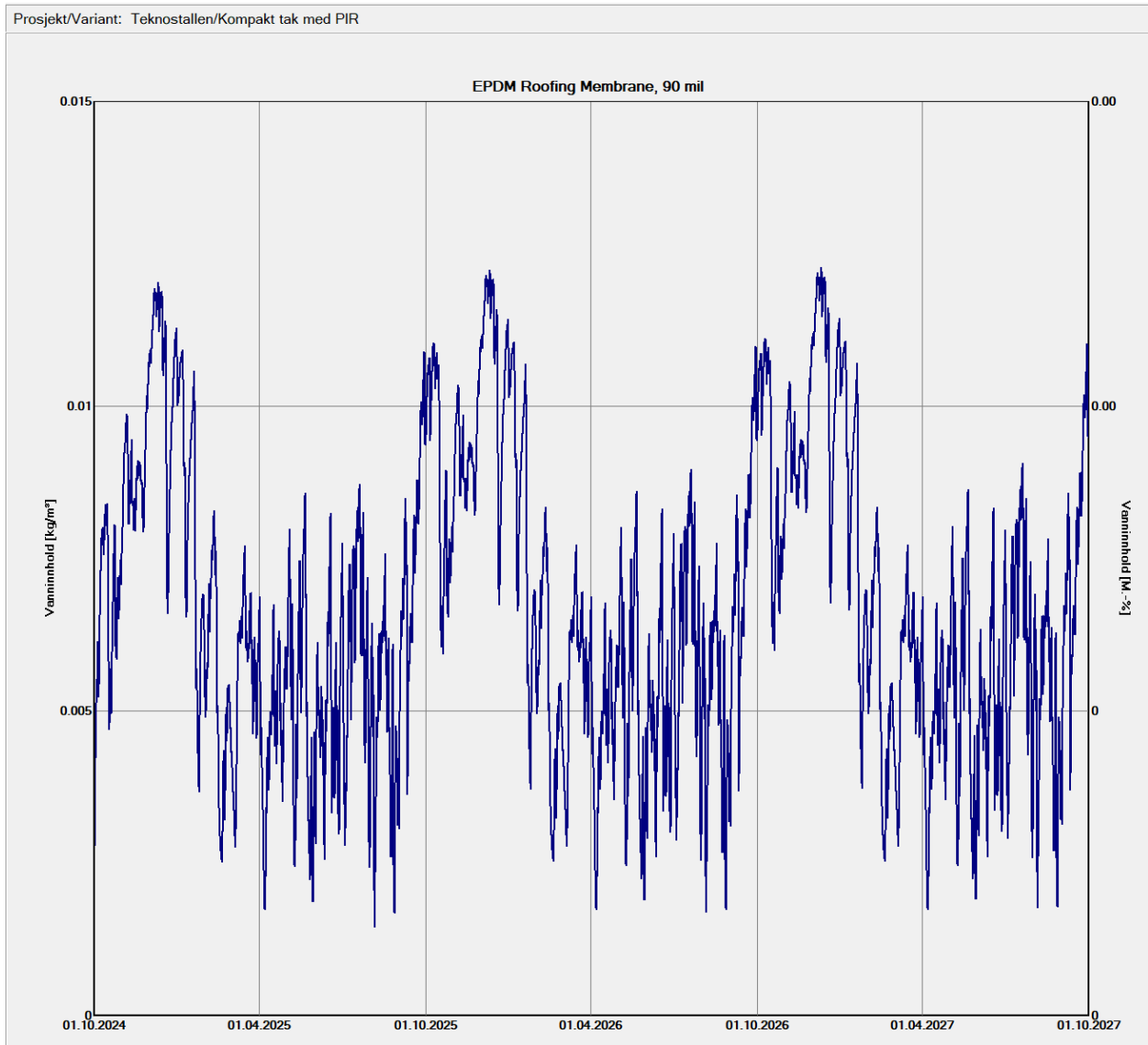


2.2. Kompakt tak med PIR og mineralull

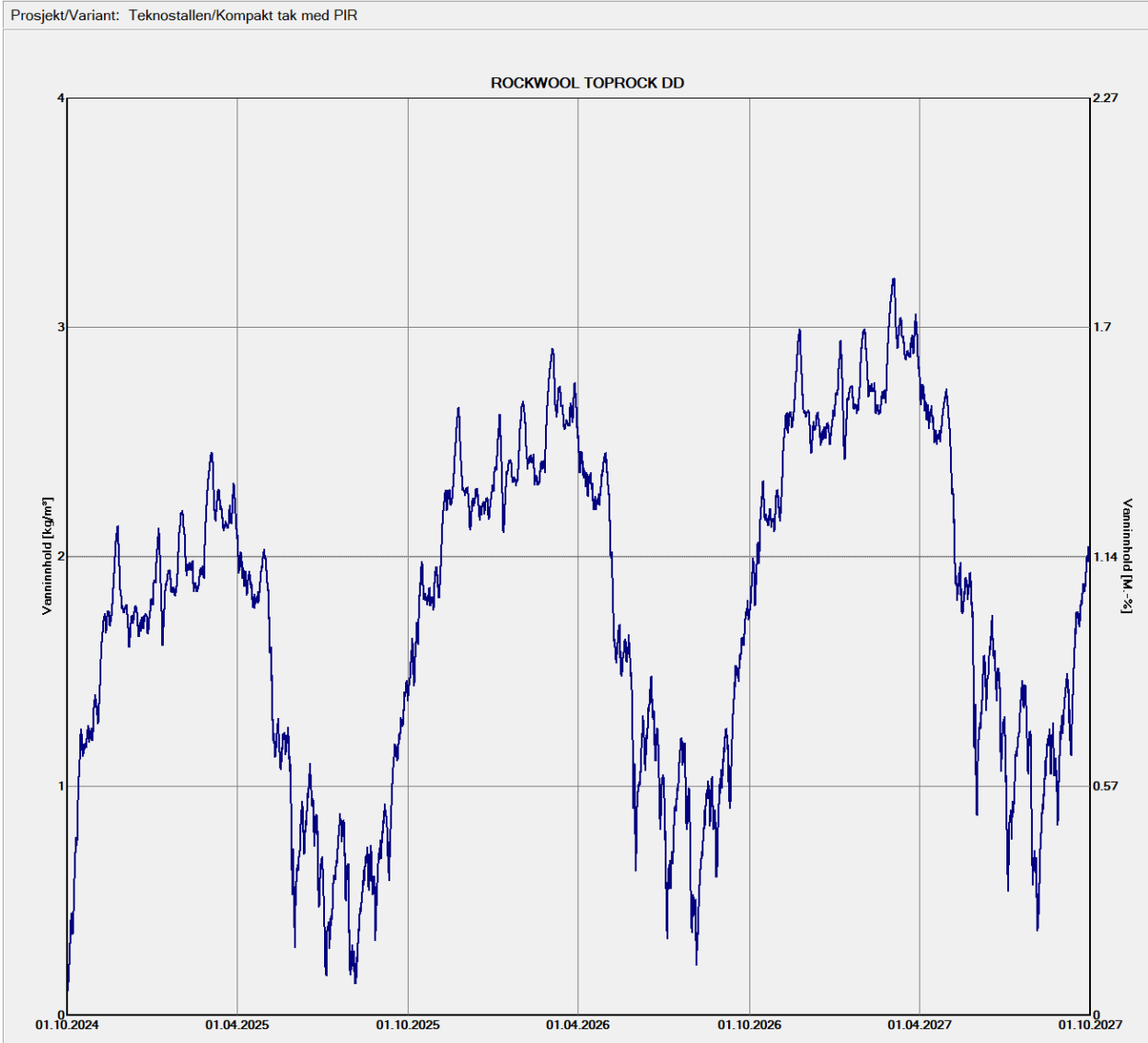
Totalt vanninnhold



Vanninnhold øvre takmembran

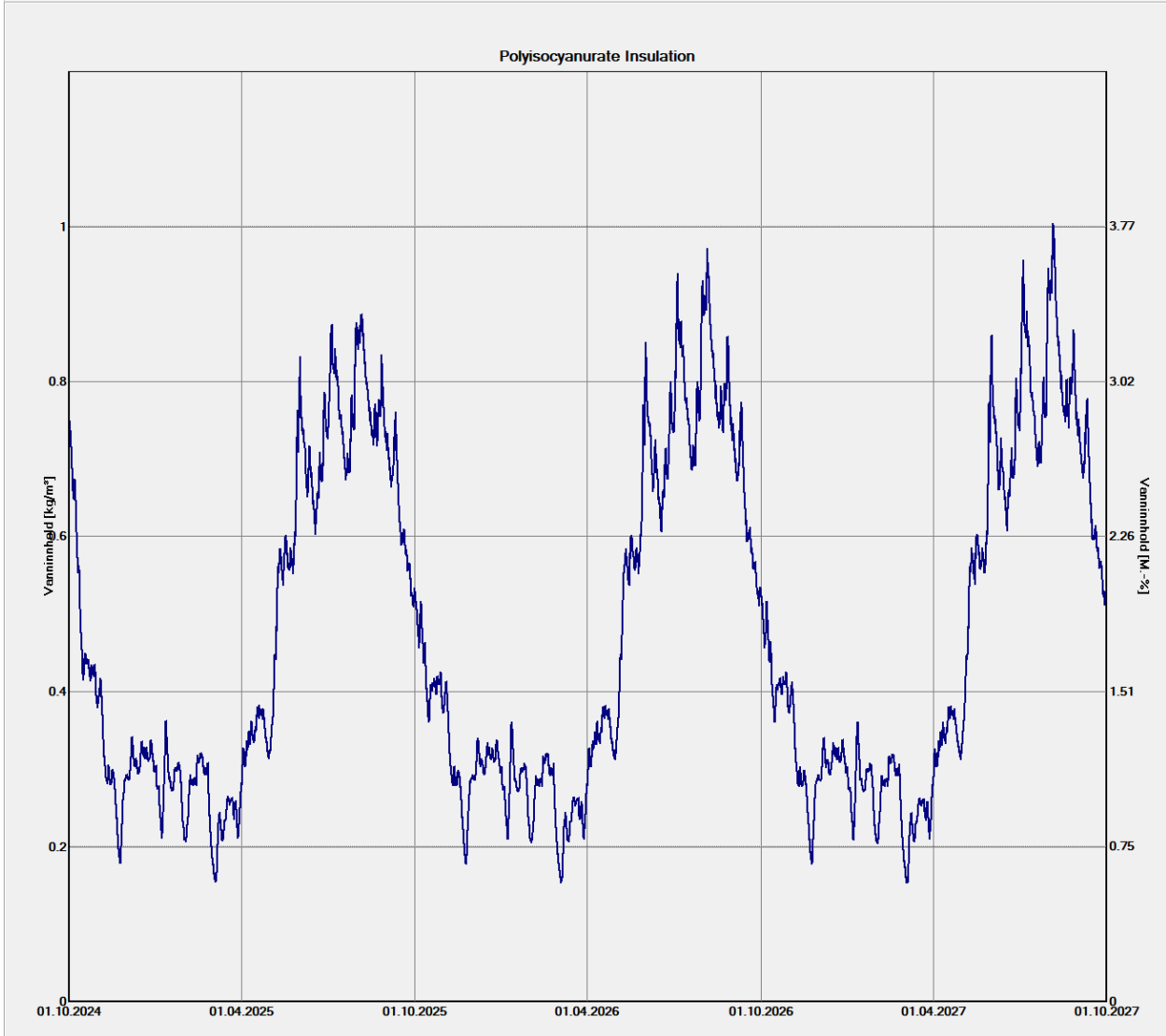


Vanninnhold mineralull

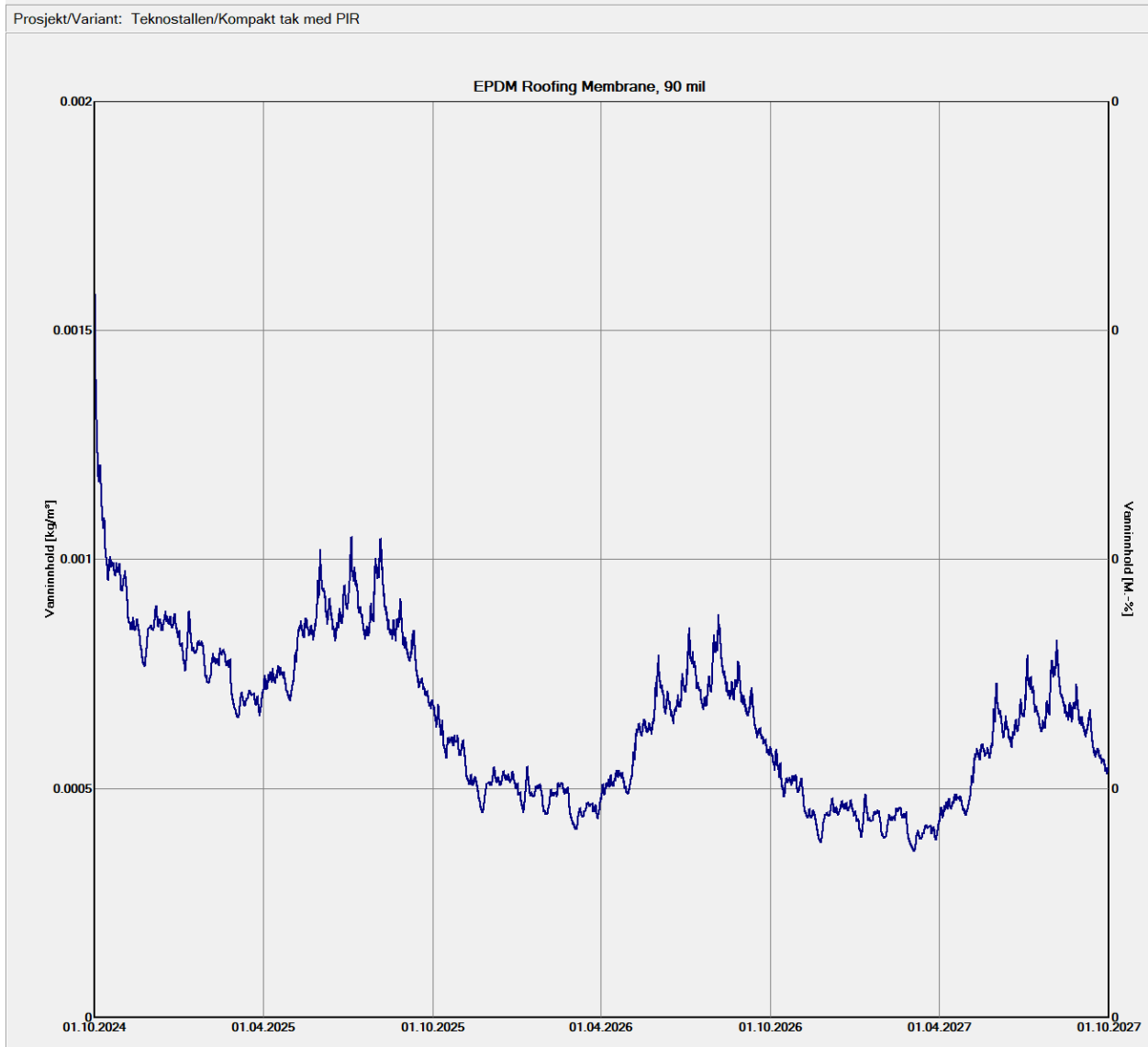


Vanninnhold PIR

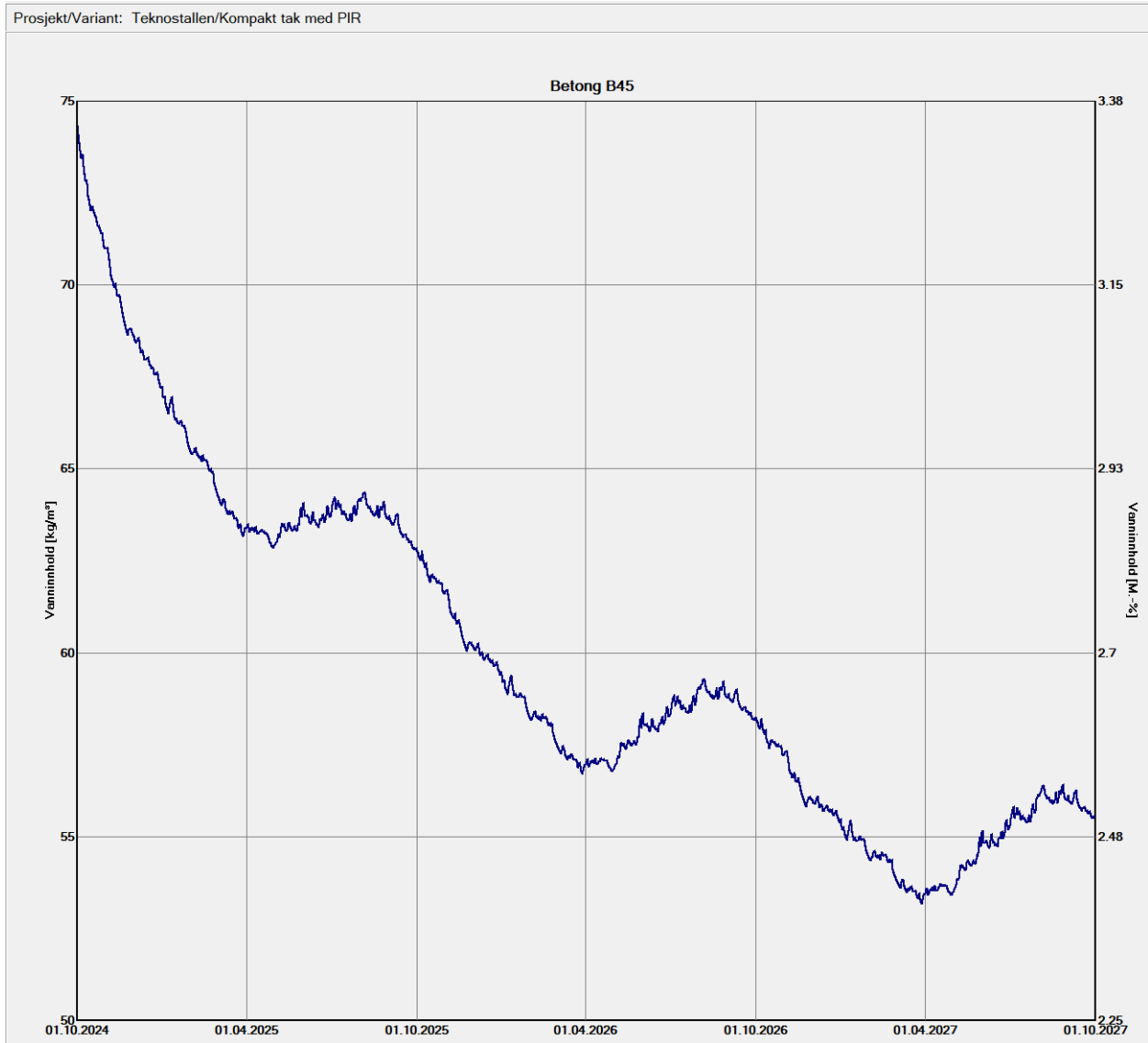
Prosjekt/Variant: Teknostallen/Kompakt tak med PIR



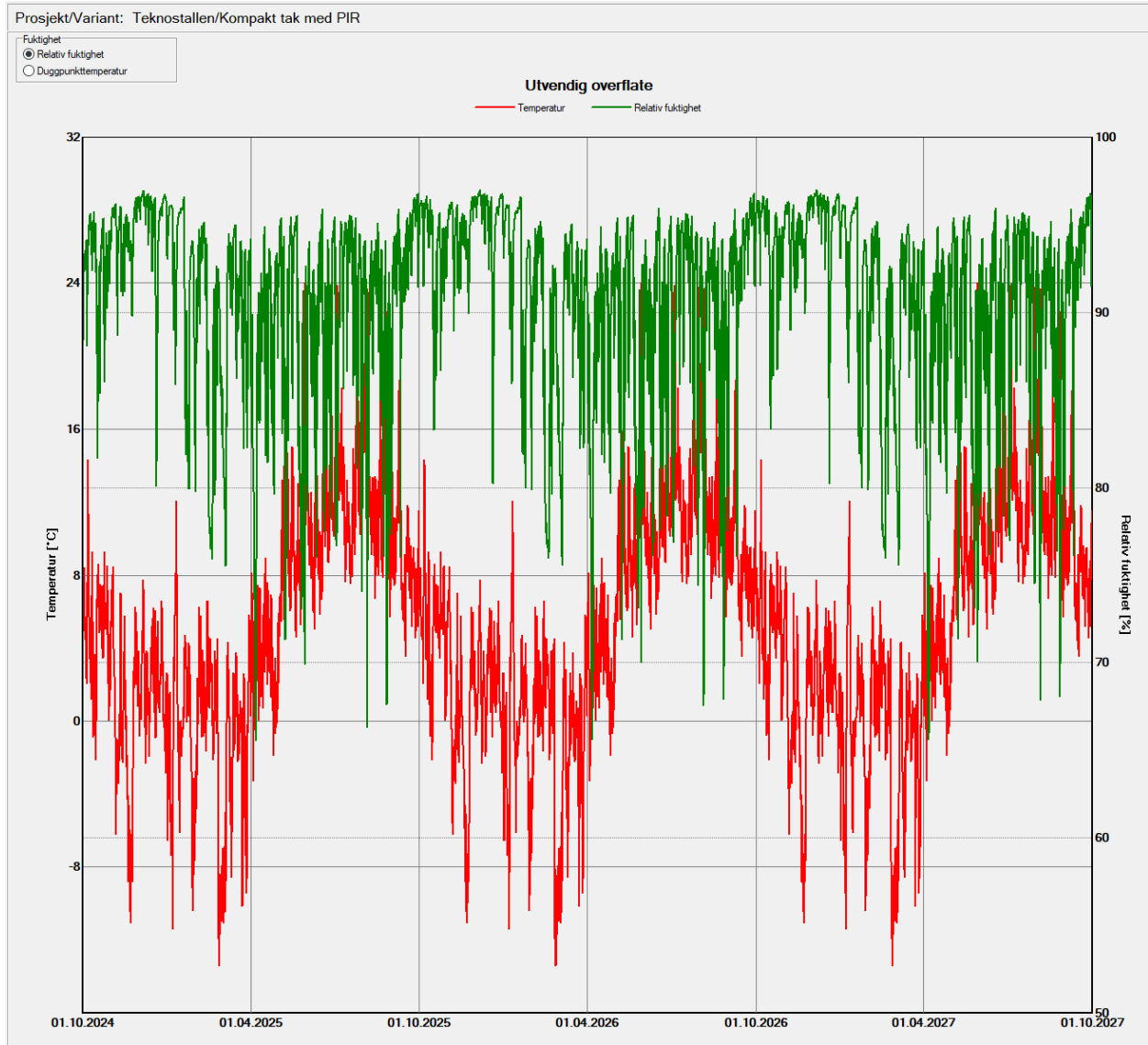
Vanninnhold nedre takmembran



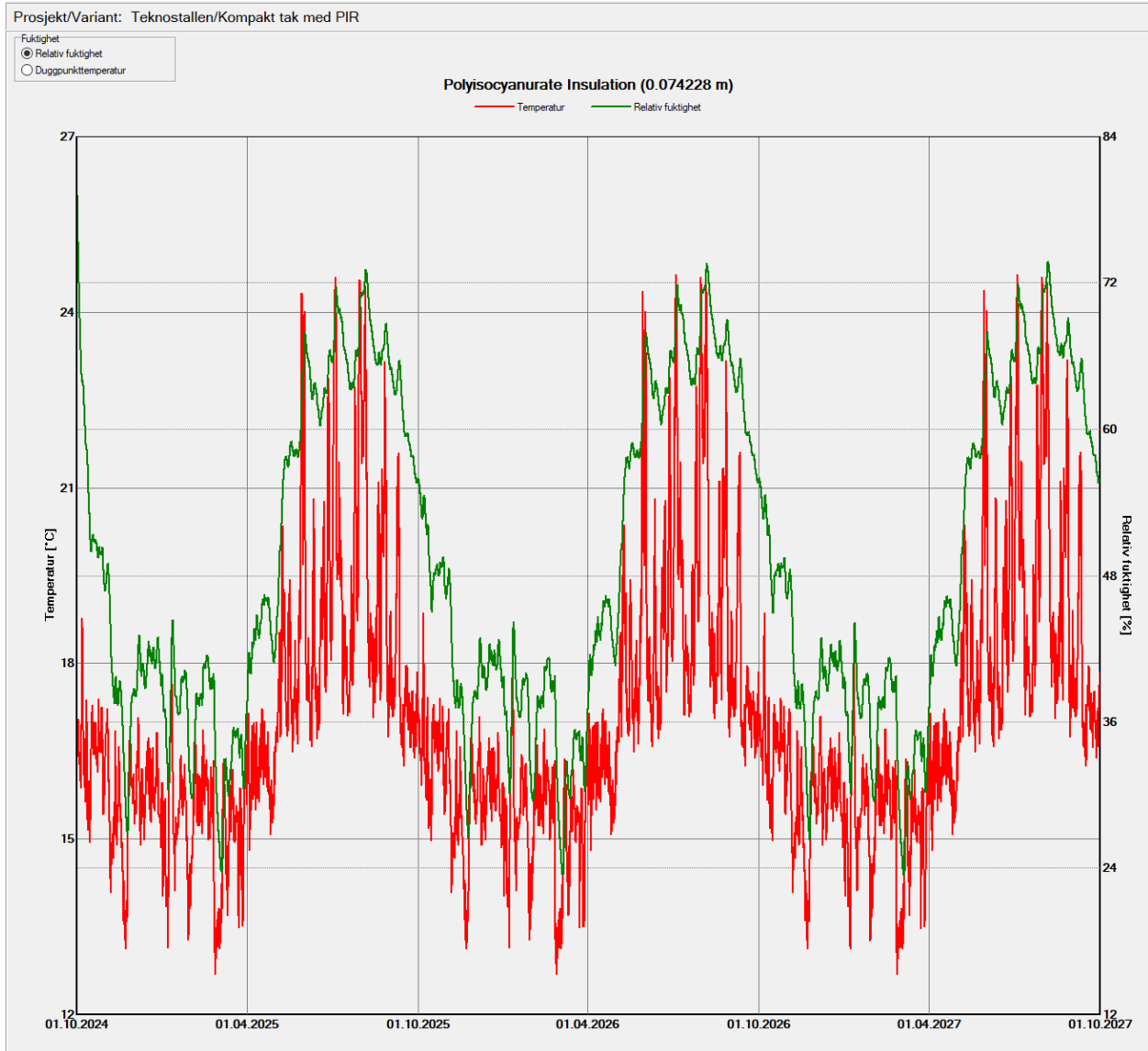
Vanninnhold betong



Relativ fuktighet og temperatur - Utvendig overflate



Relativ fuktighet og temperatur - PIR



Relativ fuktighet og temperatur - Innvendig overflate



Vedlegg 3

Rapport fra WUFI

Kompakt tak med EPS og XPS

Prosjektdata

Prosjektnavn Teknostallen

Prosjektnummer

Oppdragsgiver

Kontaktperson

Postnr/Sted

Adresse

Tel.

Faks

E-post

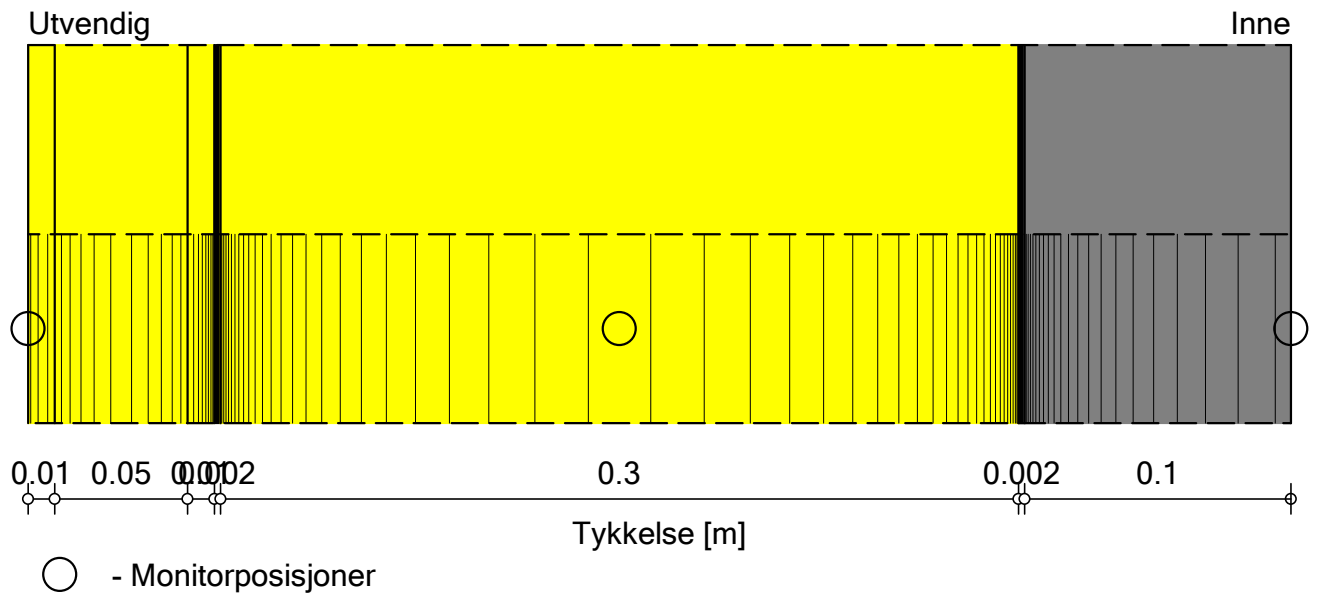
Ansvarlig

Kommentarer








Dato 14.05.2024

Konstruksjonsoppbygging

Variant: Kompakt tak med EPS og XPS



Materialer:

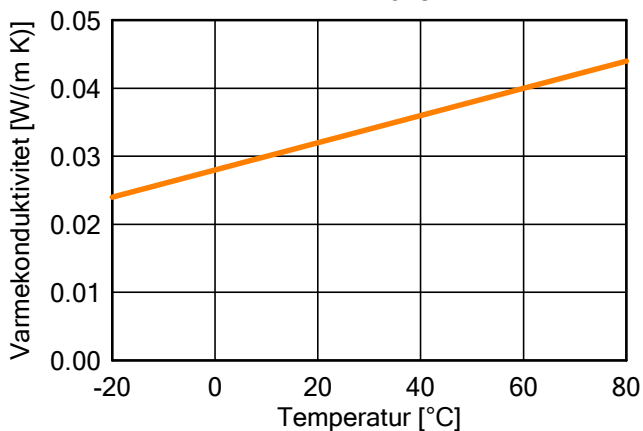
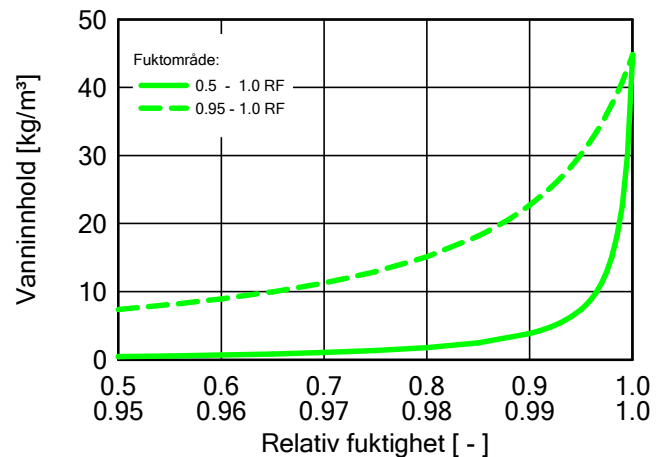
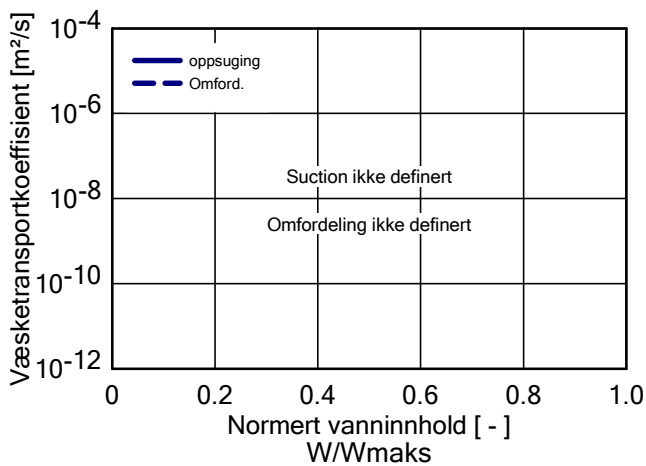
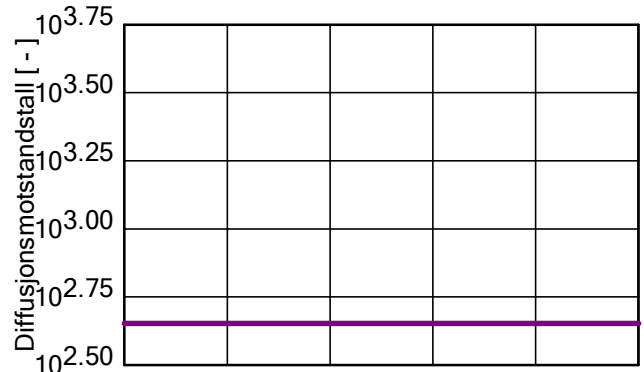
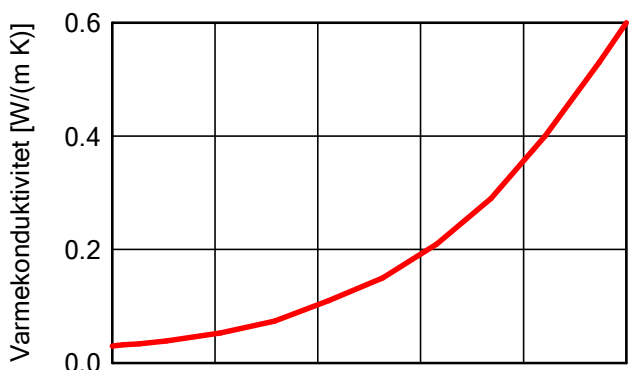
	- XPS-overflatesjikt (Varmekonduktivitet: 0,03 W/mK)	0.01 m
	- XPS-kjerne (Varmekonduktivitet: 0,03 W/mK)	0.05 m
	- XPS-overflatesjikt (Varmekonduktivitet: 0,03 W/mK)	0.01 m
	- EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.002 m
	- EPS (Varmekoduktivitet.: 0,04 W/mK - Densitet: 30 kg/m ³)	0.3 m
	- EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.002 m
	- Betong B45	0.1 m

Samlet tykkelse: 0.475 m

Varmemotstand: 9.89 (m² K)/WU-verdi: 0.099 W/(m² K)

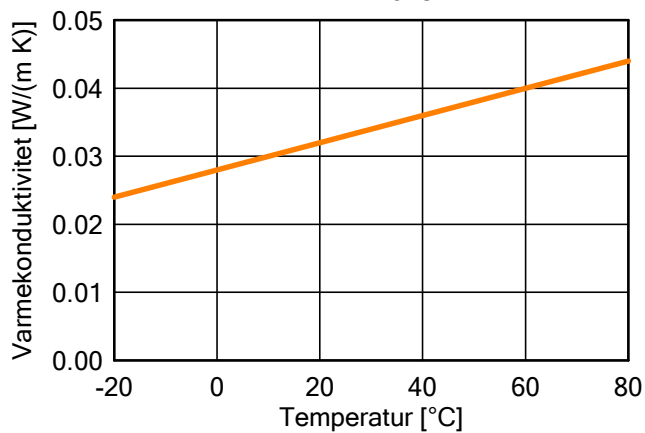
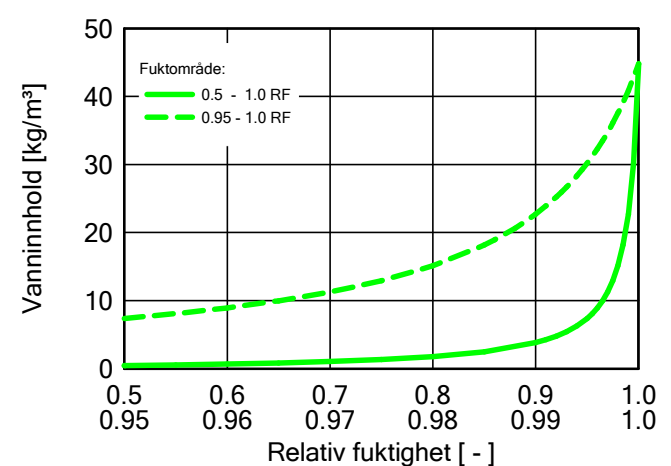
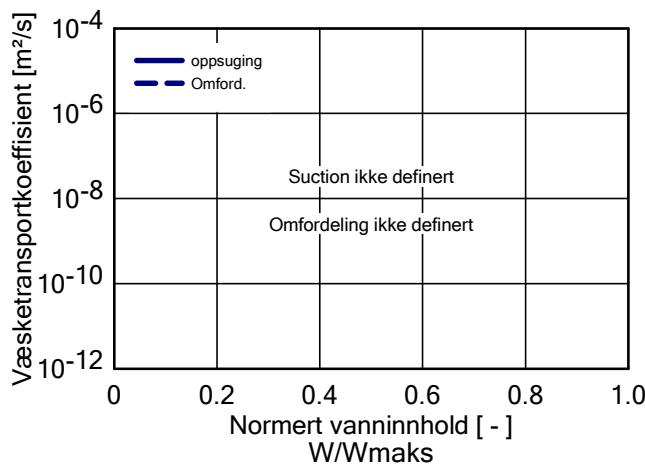
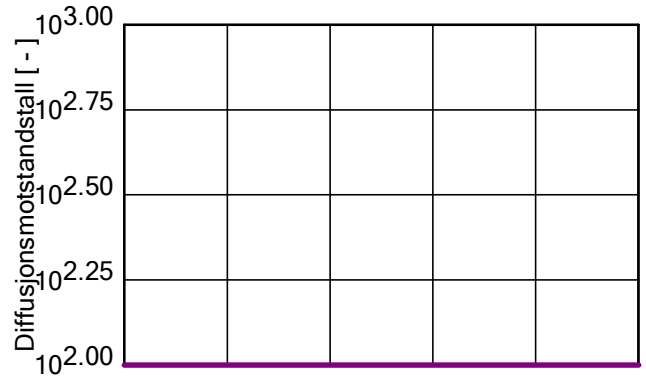
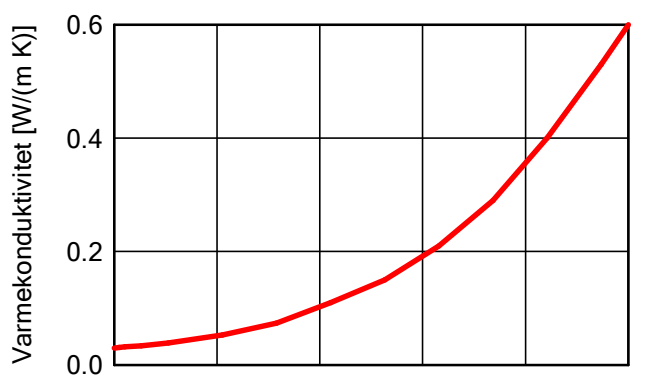
Materiale: XPS-overflatesjikt (Varmekonduktivitet: 0,03 W/mK)

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	40
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.95
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1500
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.03
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	450
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



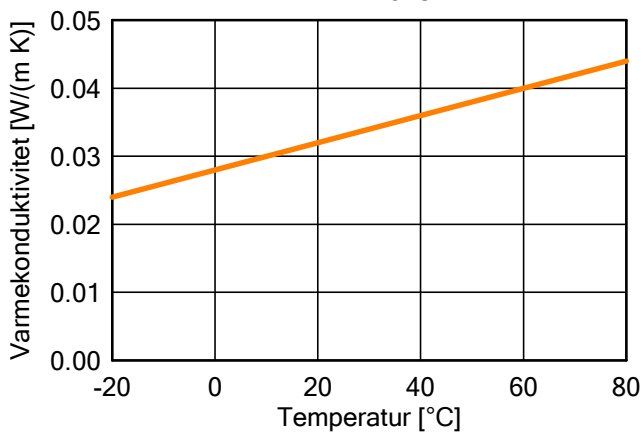
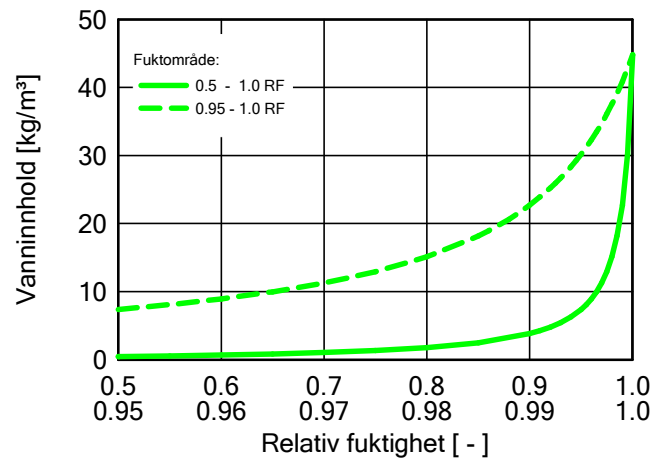
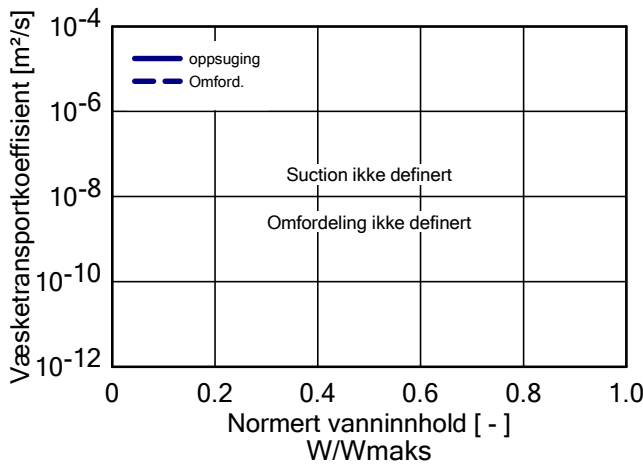
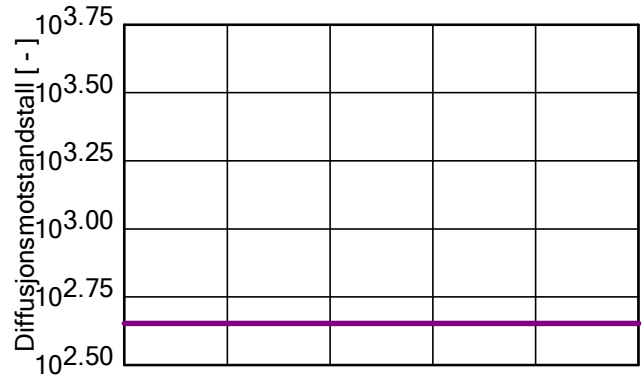
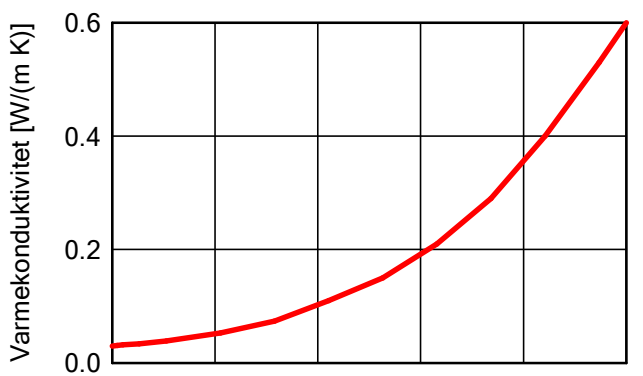
Materiale: XPS-kjerne (Varmekonduktivitet: 0,03 W/mK)

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	40
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.95
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1500
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.03
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	100
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



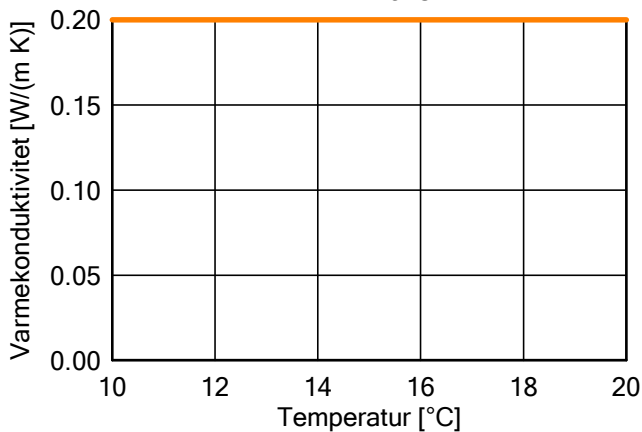
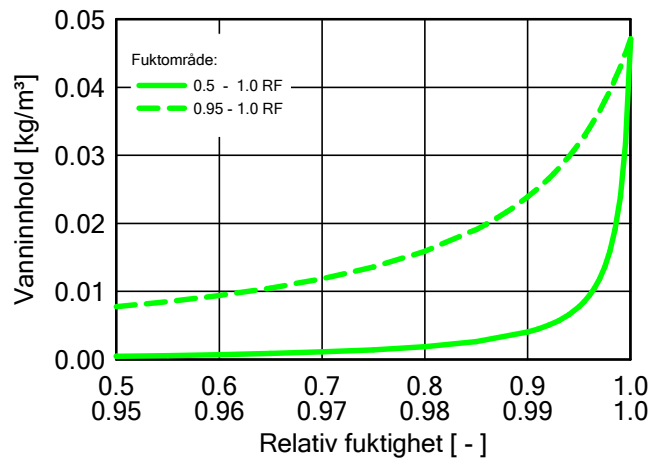
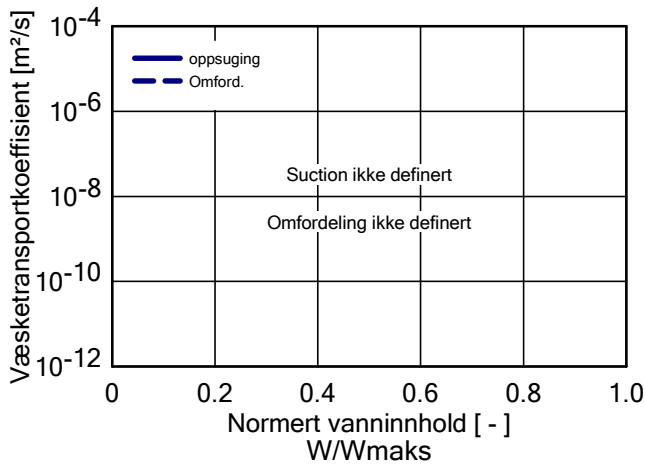
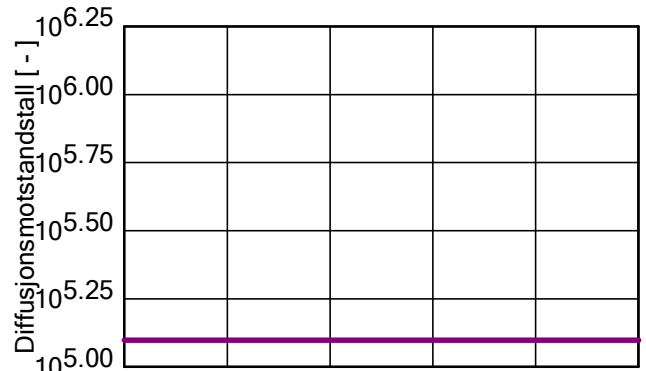
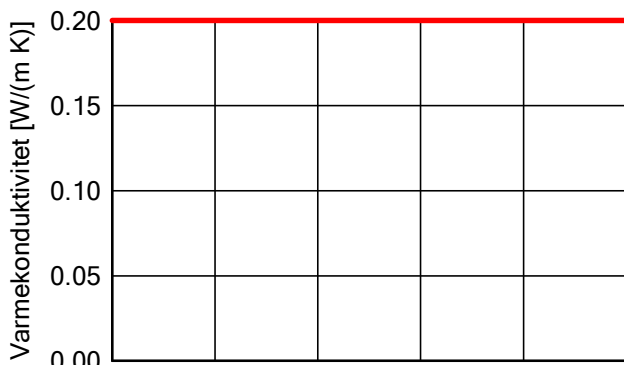
Materiale: XPS-overflatesjikt (Varmekonduktivitet: 0,03 W/mK)

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	40
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.95
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1500
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.03
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	450
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



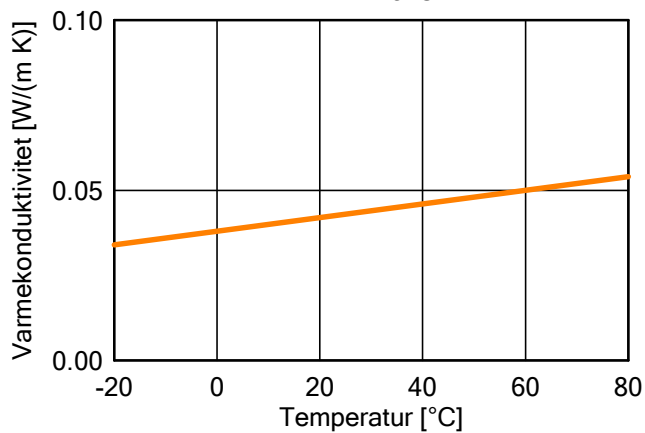
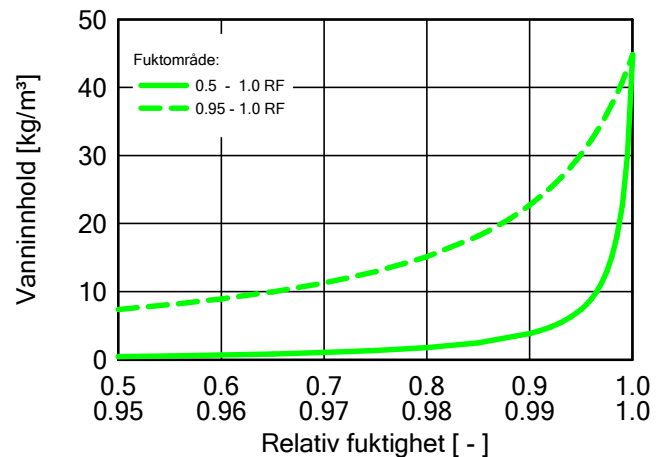
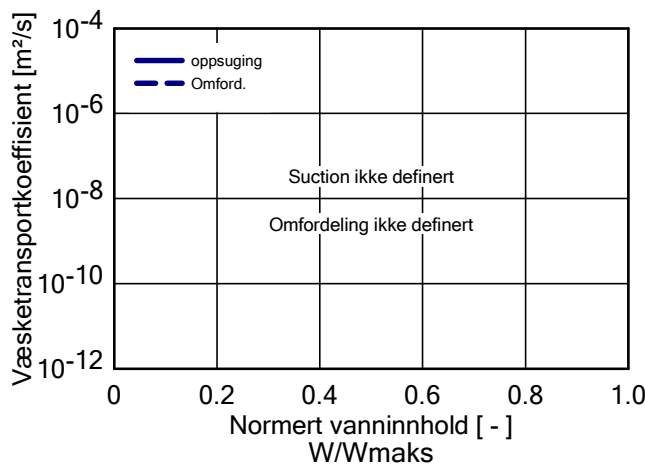
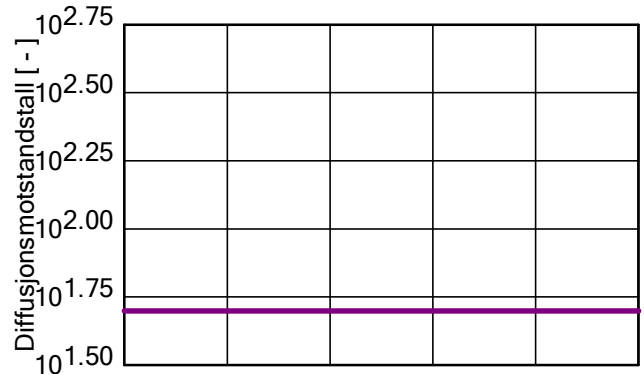
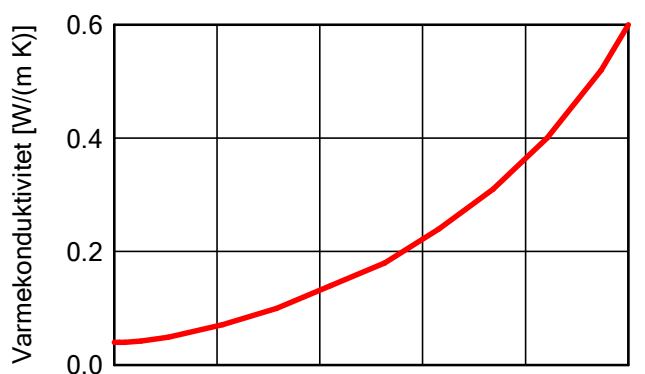
Materiale: EPDM Roofing Membrane, 90 mil

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	850
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.001
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1900
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	125390



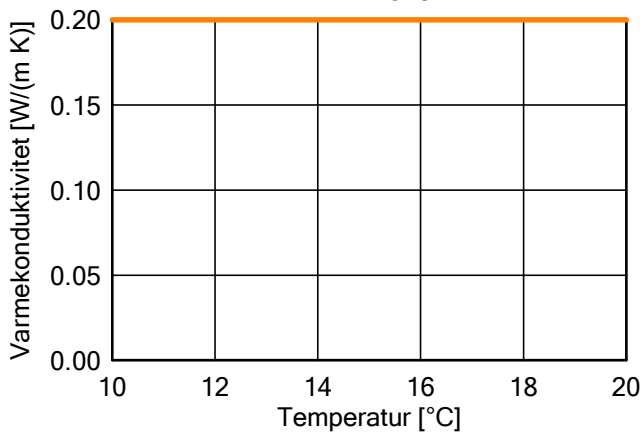
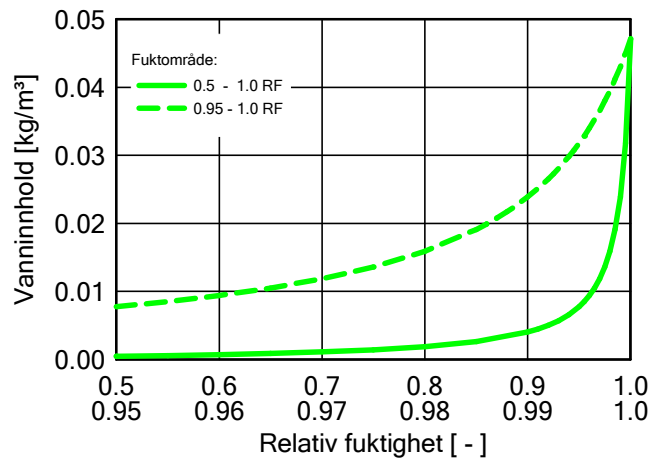
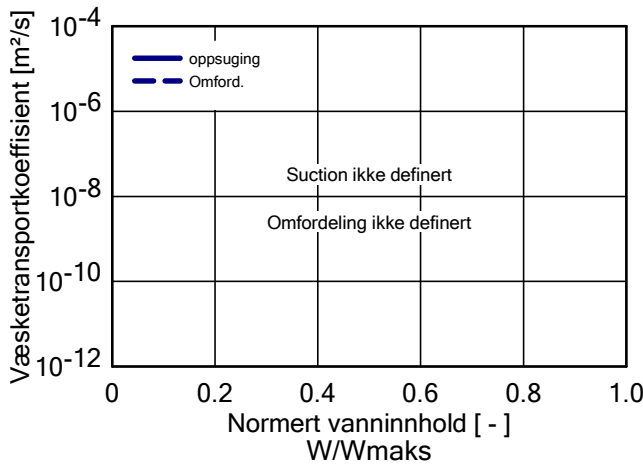
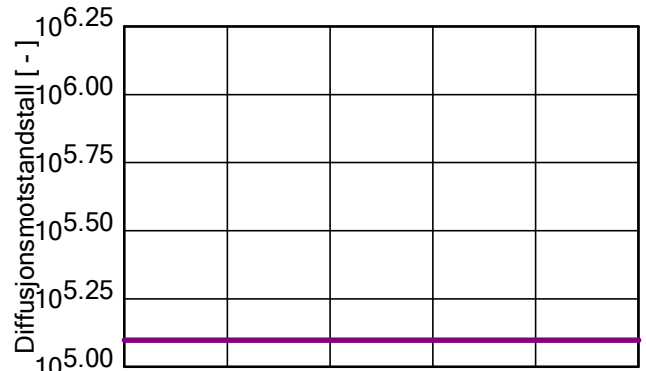
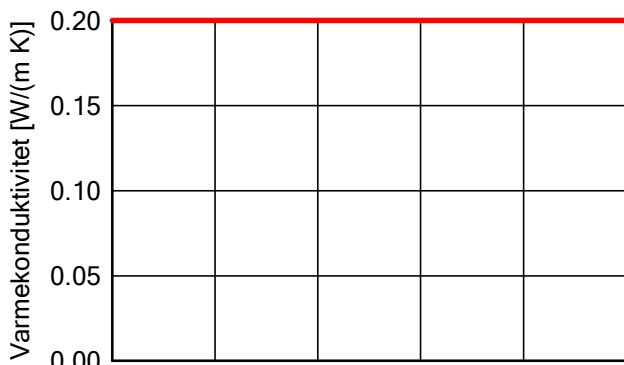
Materiale: EPS (Varmekoduktivitet.: 0,04 W/mK - Densitet: 30 kg/m³)

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	30
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.95
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1500
Varmekoduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.04
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	50
Temp.-avh. varmekodukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



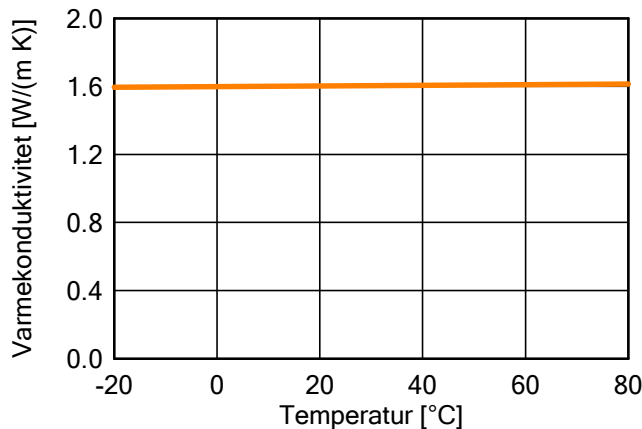
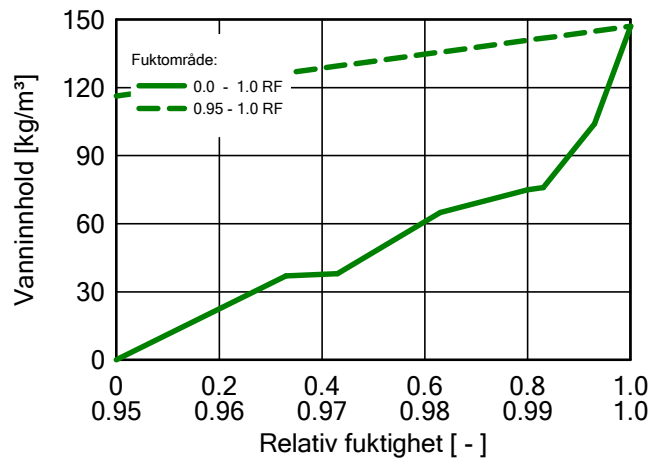
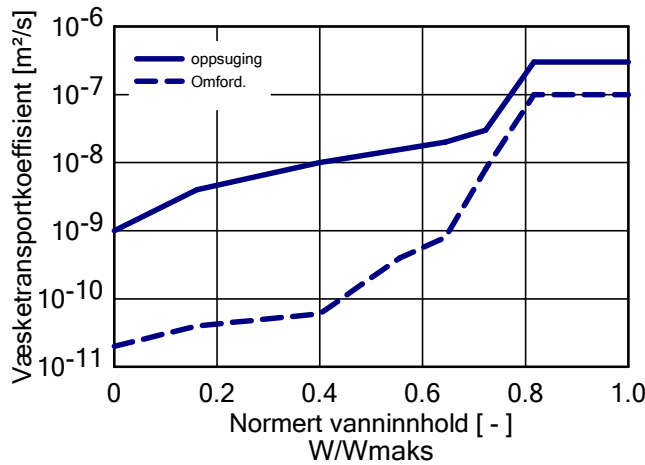
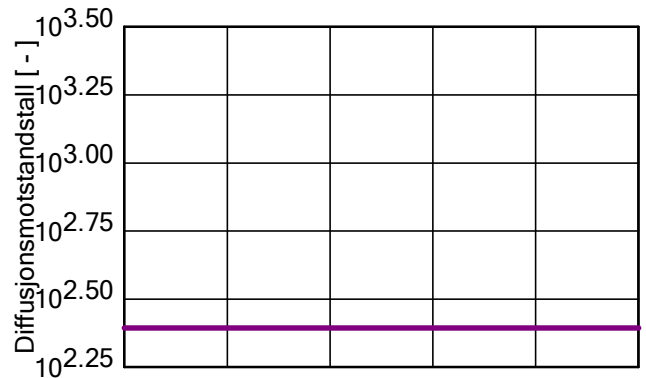
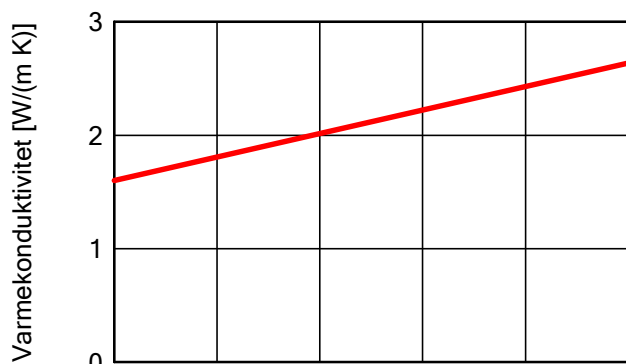
Materiale: EPDM Roofing Membrane, 90 mil

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	850
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.001
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1900
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	125390



Materiale: Betong B45

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	2220
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.18
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	850
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	248
Varmekonduktivitetstillegg	[%/M.-%]	8
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



Randvilkår

Ute (venstre side)

Sted for klima: Trondheim; NBI / NTNU
 Temperaturforskyvning: 0.0 °C
 Orientering / Helning: Nord / 0 °

Inne (høyre side)

Inneklima: EN 15026
 Normal fuktbelastning +5% (Dimensjonerende) (DIN/WTA)

Overflaters overgangskoeffisient

Ute (venstre side)

Navn	Merknader	Enhet	Verdi
Varmemotstand - inkluderer langbølget strålingsbidrag	Tak	[(m ² K)/W]	0.0526 ja
Sd-verdi	Ingen overflatebehandling	[m]	----
Kortbølget strålingsabsorpsjonstall	Ingen absorpsjon/emisjon	[-]	----
Langbølget strålingsemissivitet	Ingen absorpsjon/emisjon	[-]	----
Regnvannabsorpsjonstall	Avhengig av komponenthe	[-]	1.0
Eksplisitt strålingsbalanse			nei

Inne (høyre side)

Navn	Merknader	Enhet	Verdi
Varmemotstand	Tak	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-verdi	Ingen overflatebehandling	[m]	----

Resultater fra siste beregning

Status for beregning

Dato/tid for beregning	14.05.2024 16:50:41
Regnetid	0 min,33 sek.
Begynn / Avslutt beregning	01.10.2024 / 01.10.2027
Antall konvergensfeil	0

Numerisk kvalitetssjekk

Samlet fukttransport, utv. (kl,dl)	[kg/m ²]	0.0 -0.01
Samlet fukttransport, innv. (kr,dr)	[kg/m ²]	1.41 0.43
Balanse 1	[kg/m ²]	-1.85
Balanse 2	[kg/m ²]	-1.86

Vanninnhold [kg/m²]

	Start	Slutt	Min.	Maks.
Totalt vanninnhold	8.16	6.18	5.92	8.16

Vanninnhold [kg/m³]

Sjikt/Materiale	Start	Slutt	Min.	Maks.
XPS-overflatesjikt (Varmekonduktivitet)	1.79	3.45	1.29	5.67
XPS-kjerne (Varmekonduktivitet: 0,03)	1.79	1.74	1.55	1.89
XPS-overflatesjikt (Varmekonduktivitet)	1.79	1.26	0.94	1.79
EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.00	0.00	0.00	0.00
EPS (Varmekoduktivitet.: 0,04 W/mK)	1.79	1.79	1.79	1.81
EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.00	0.00	0.00	0.00
Betong B45	75.00	55.08	52.61	75.00

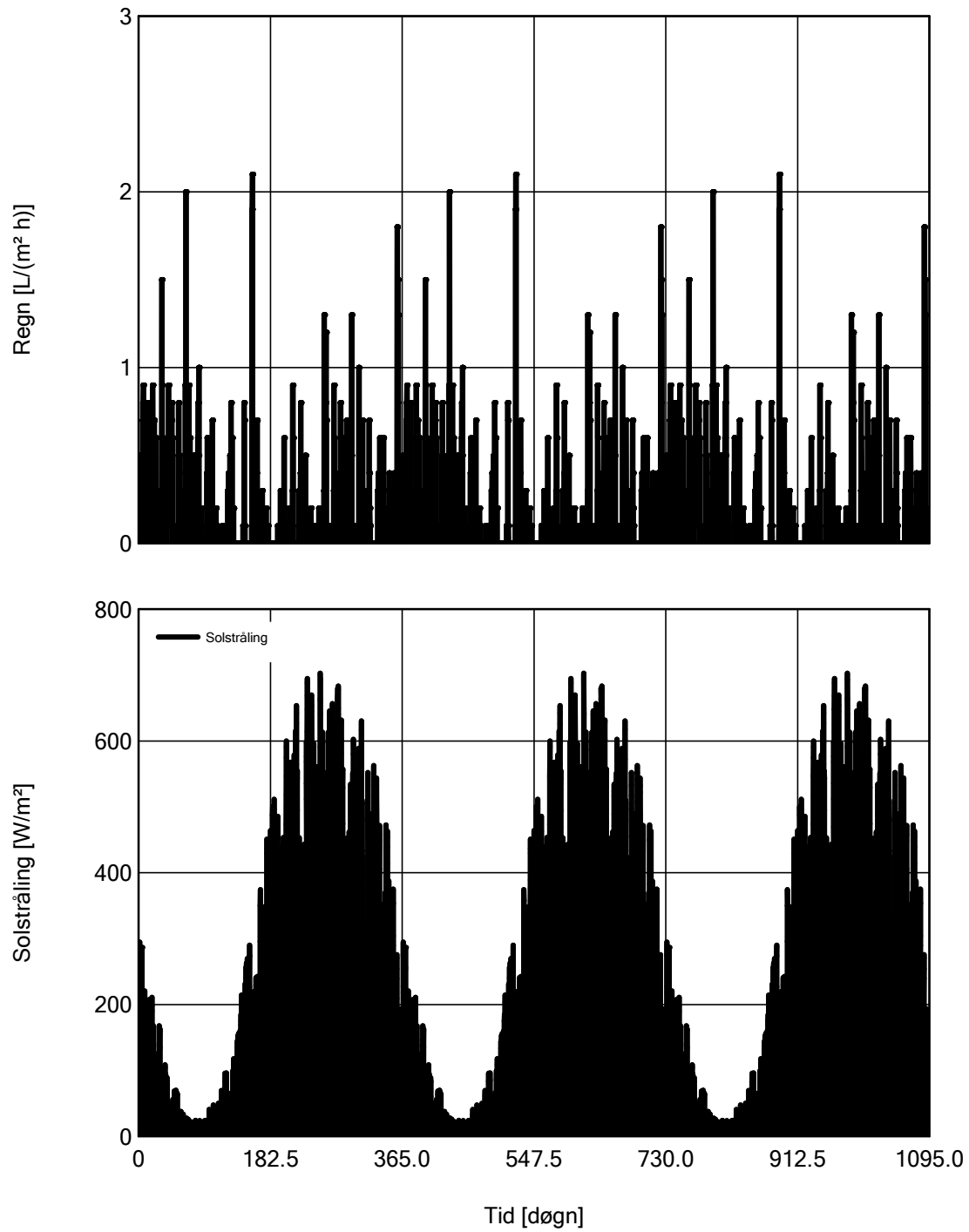
Tidsintegralet av strømingstetthetene

Varmestrømstetthet, venstre side	[MJ/m ²]	-142.87
Varmestrømstetthet, høyre side	[MJ/m ²]	-147.48
Fuktstrømmer, venstre side	[kg/m ²]	-0.01
Fuktstrømmer, høyre side	[kg/m ²]	1.97

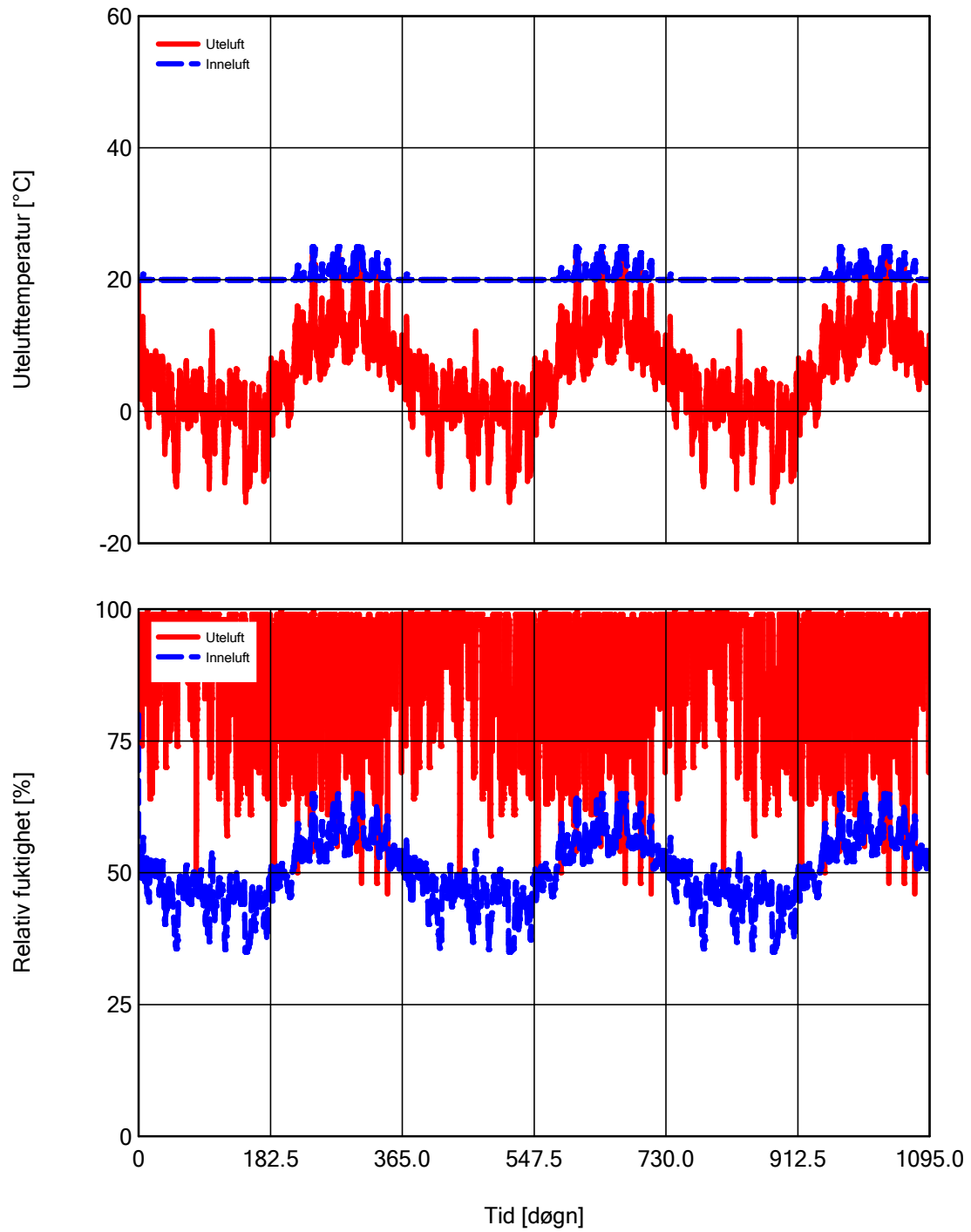
Hygrotermiske kilder

Varmekilder	[MJ/m ²]	0.0
Fuktkilder	[kg/m ²]	0.0
Begrensete fuktkilder	[kg/m ²]	0.0

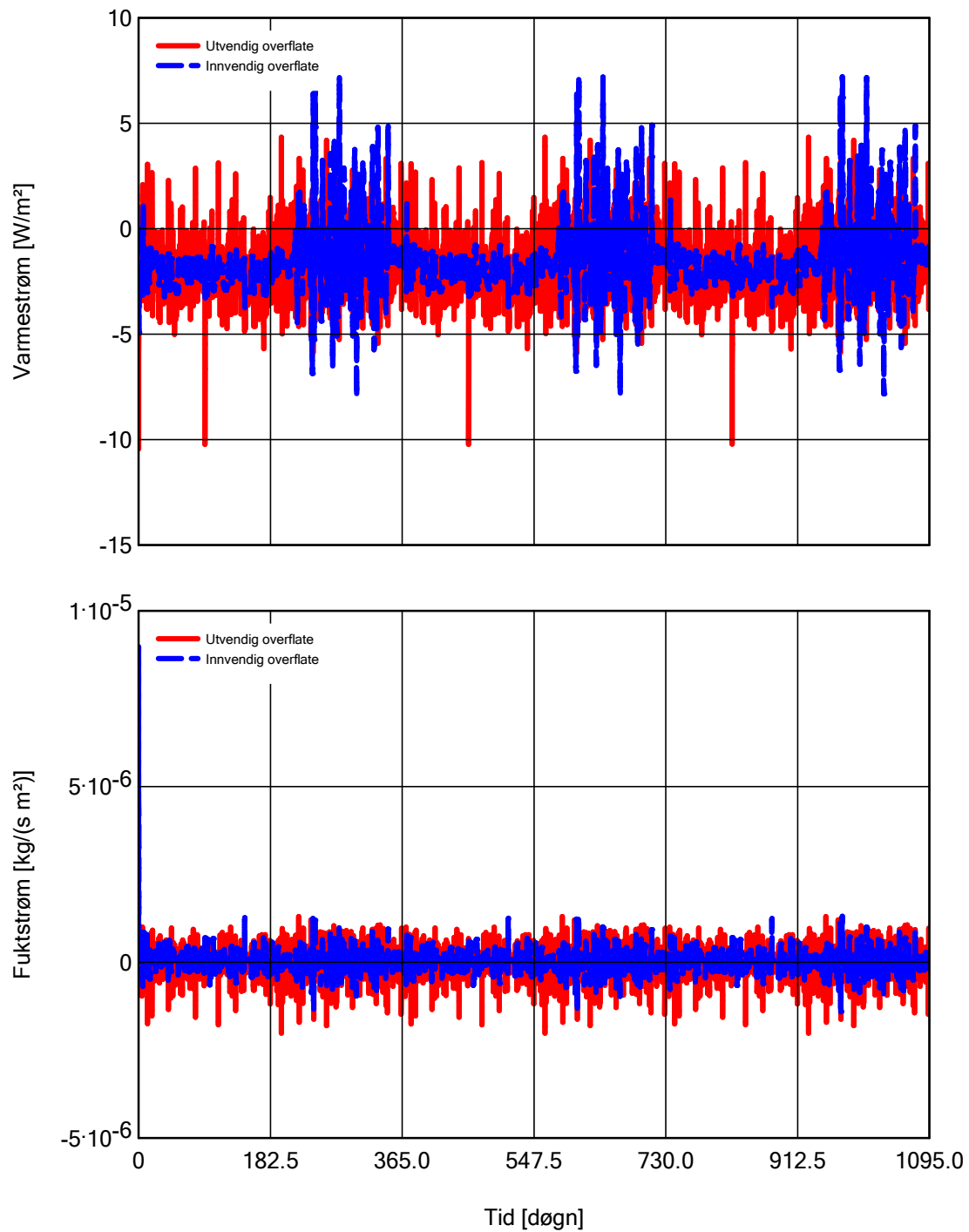
Regn, stråling (Uteklima)



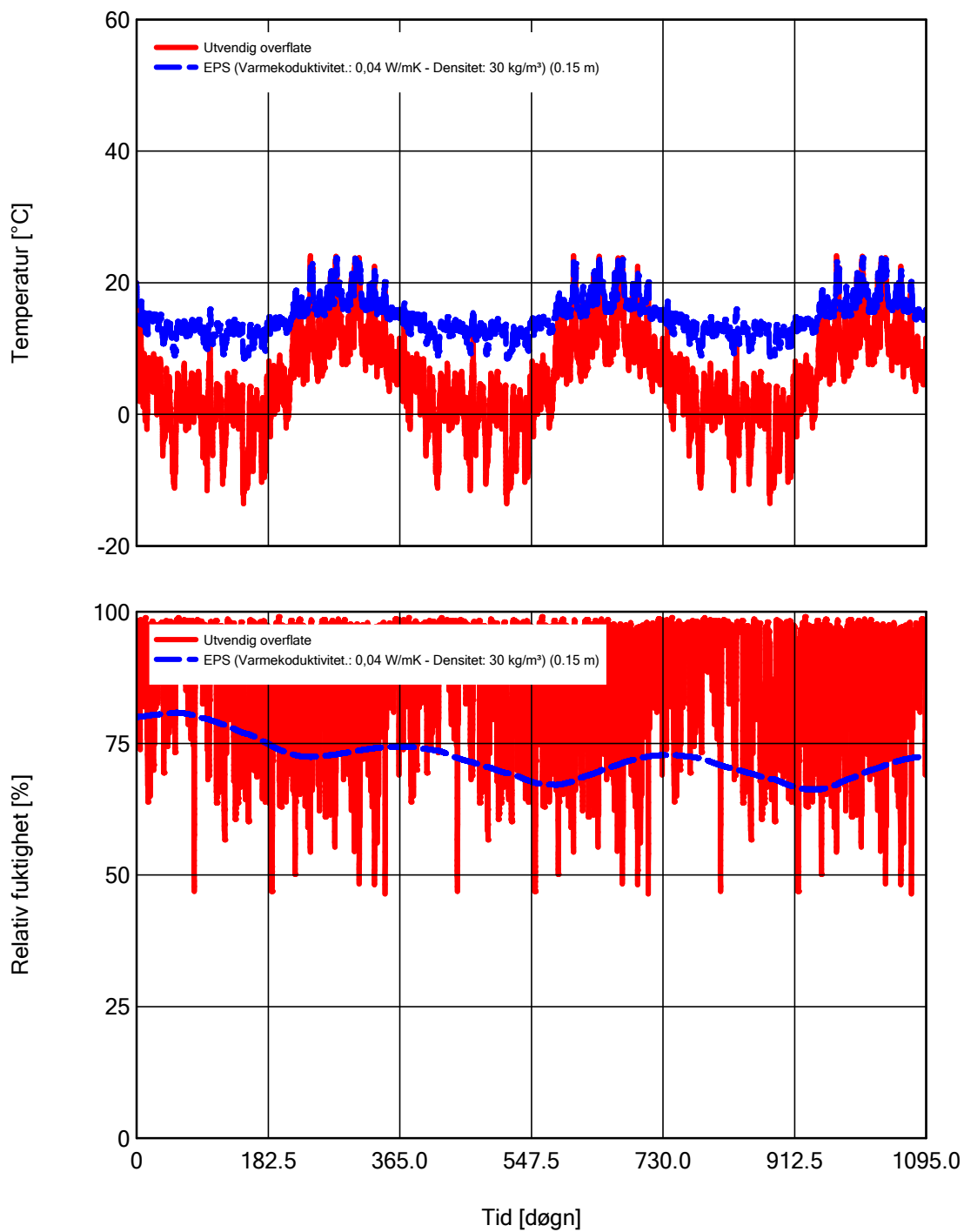
Lufttemp., rel. luftfuktighet (ute, inne)



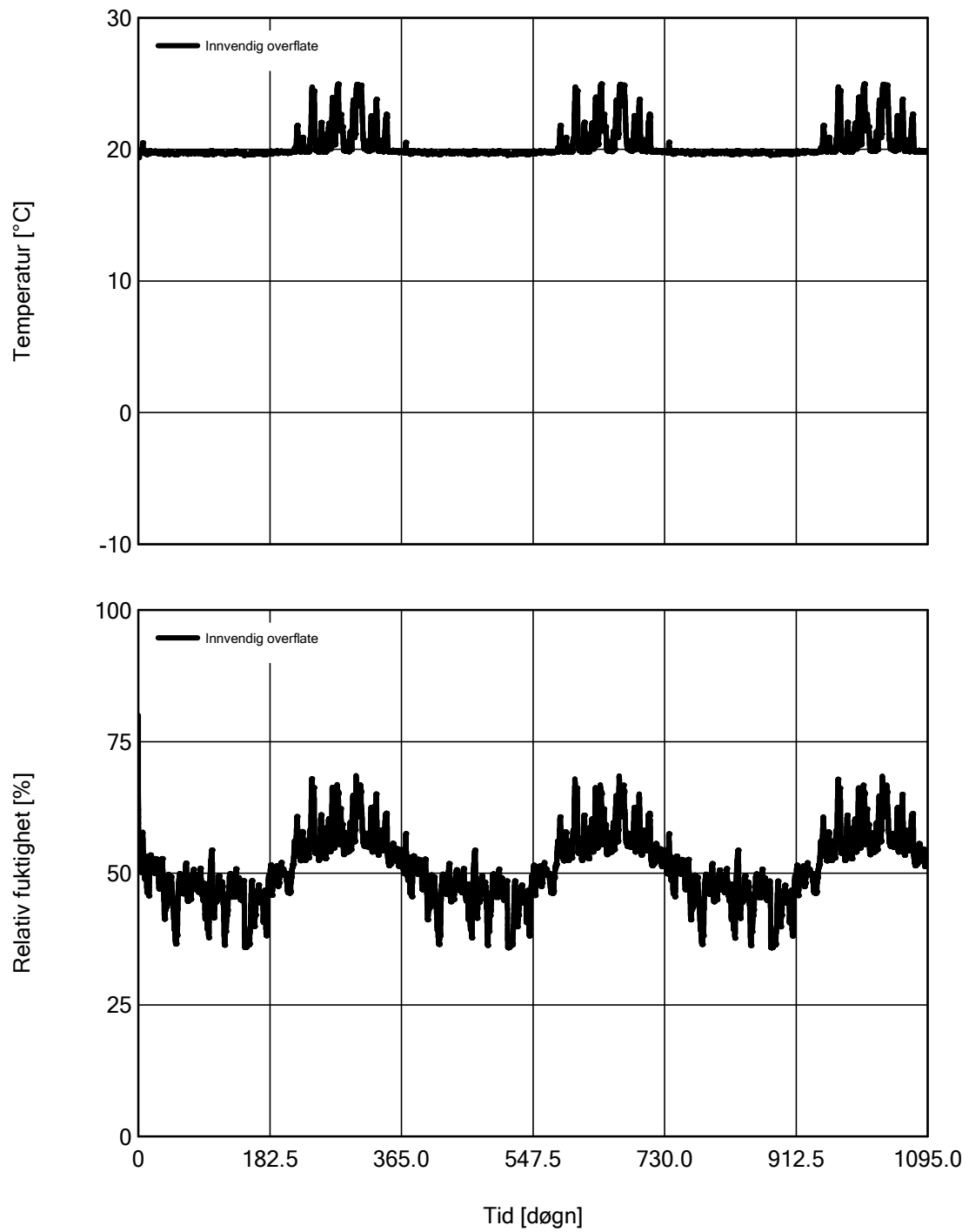
Varme-, Fuktstrøm



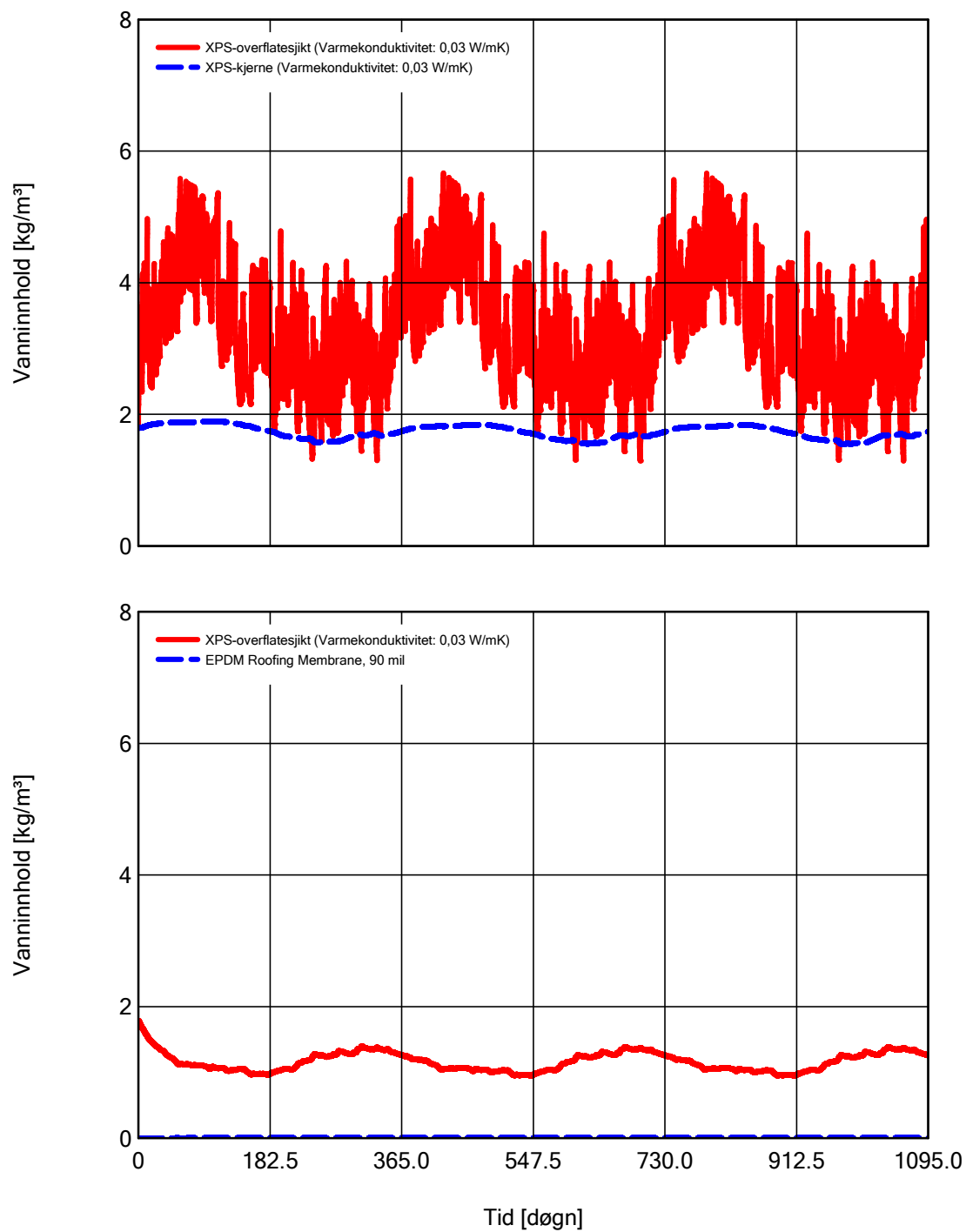
Temperatur, RF (Monitorposisjon 1, 2)



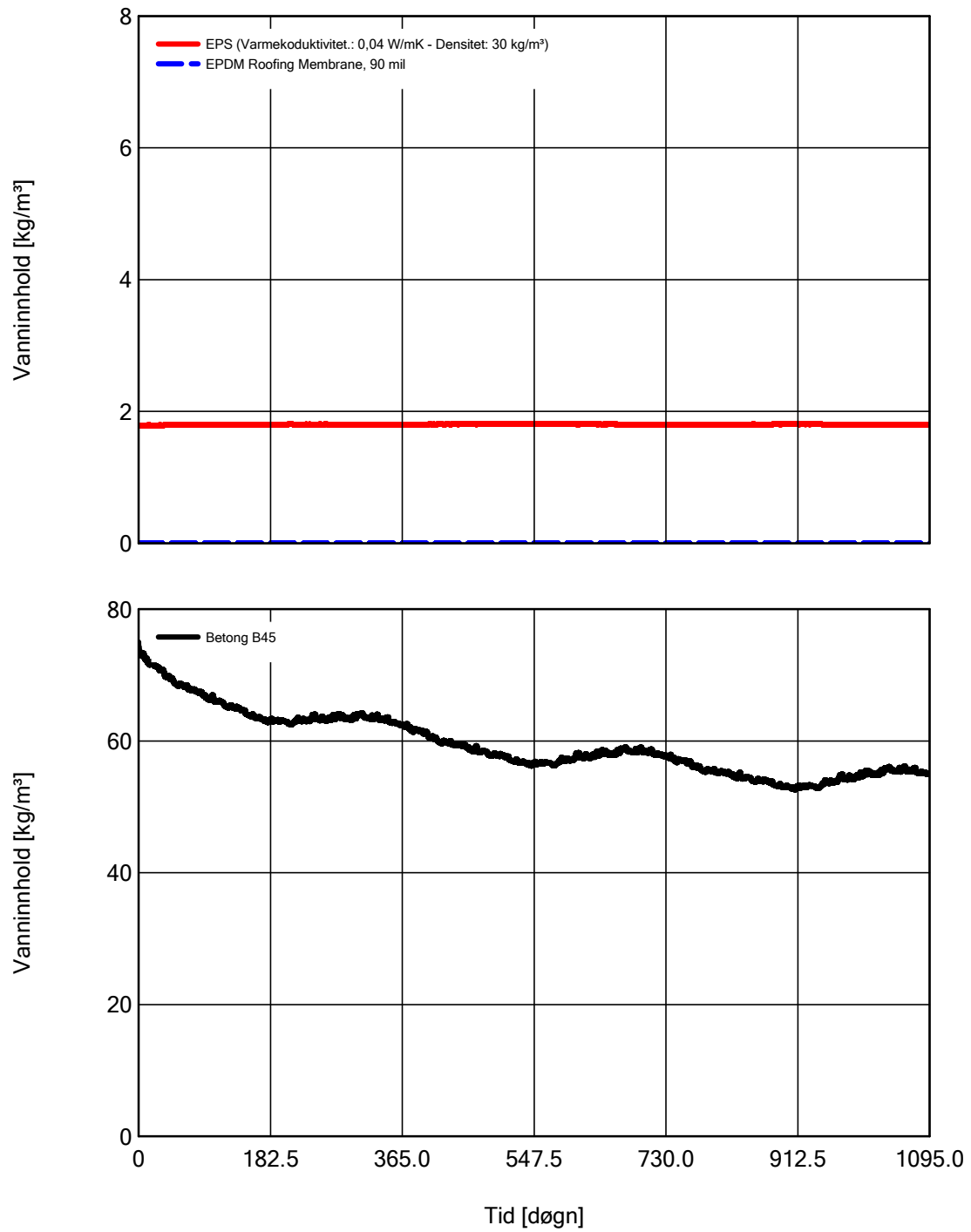
Temperatur, RF (Monitorposisjon 3)



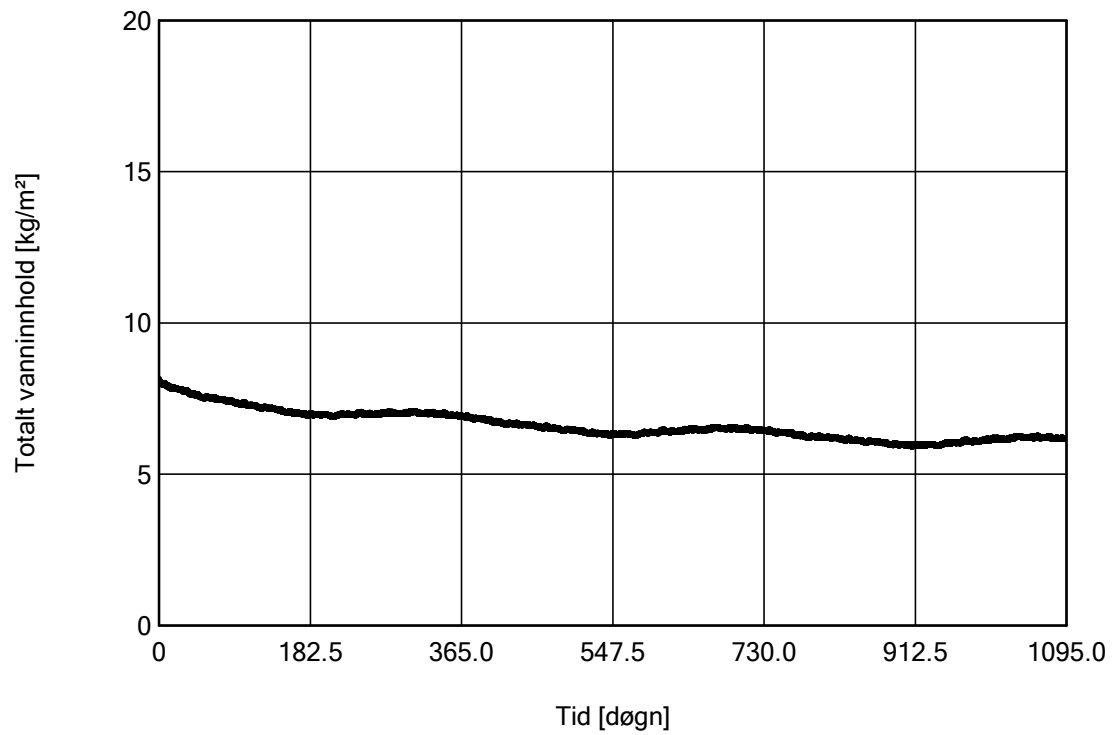
Vanninnhold i enkeltmaterialer



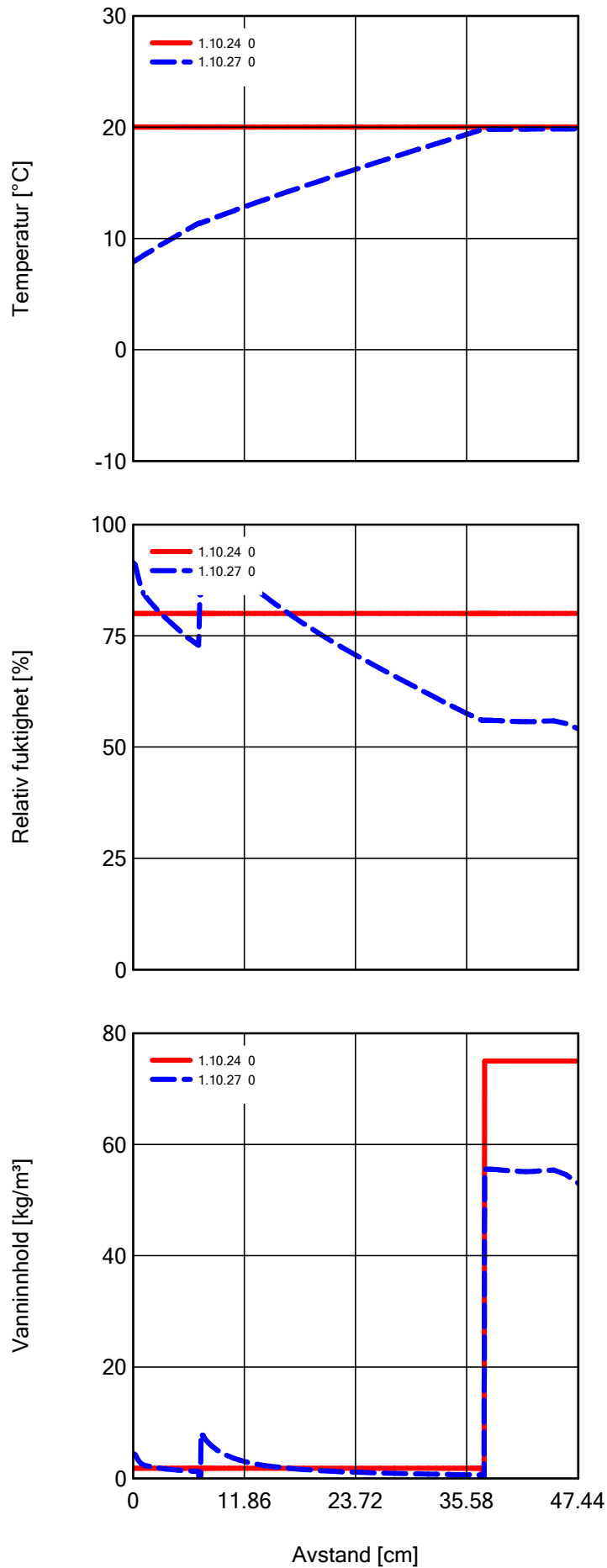
Vanninnhold i enkeltmaterialer



Totalt vanninnhold i konstruksjonen



Profiler



Vedlegg 4

Rapport fra WUFI

Kompakt tak med med PIR og mineralull

Prosjektdata

Prosjektnavn Teknostallen

Prosjektnummer

Oppdragsgiver

Kontaktperson

Postnr/Sted

Adresse

Tel.

Faks

E-post

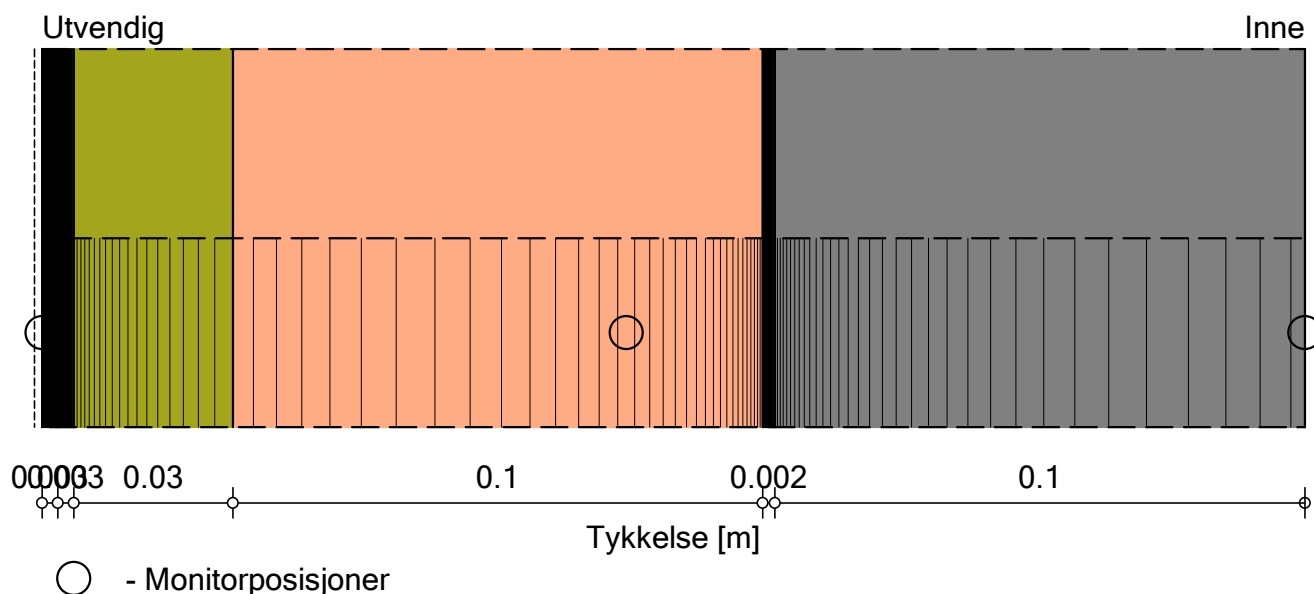
Ansvarlig

Kommentarer

Dato 14.05.2024

Konstruksjonsoppbygging

Variant: Kompakt tak med PIR



Materialer:

	- EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.003 m
	- EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.003 m
	- ROCKWOOL TOPROCK DD	0.03 m
	- Polyisocyanurate Insulation	0.1 m
	- EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.002 m
	- Betong B45	0.1 m

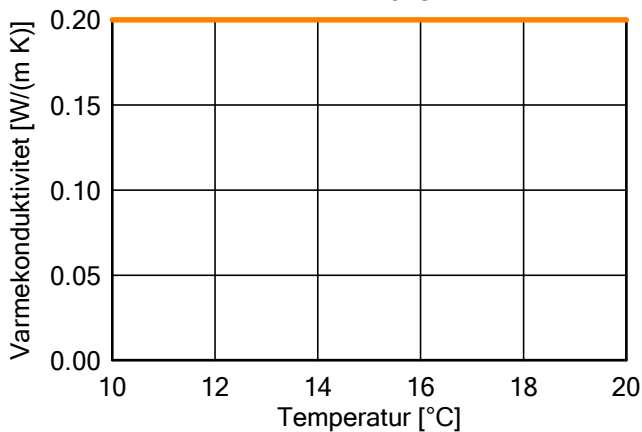
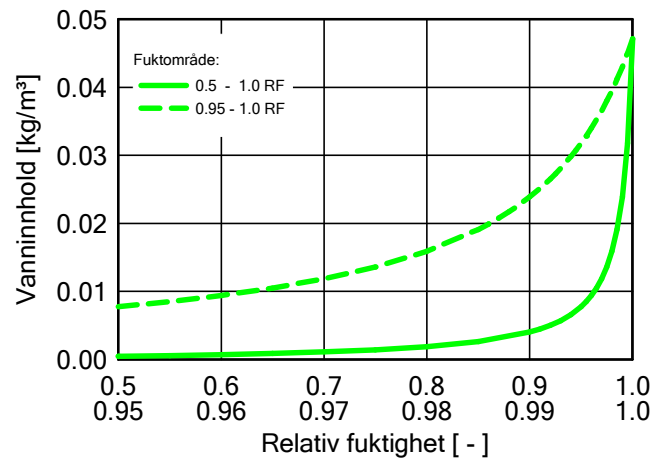
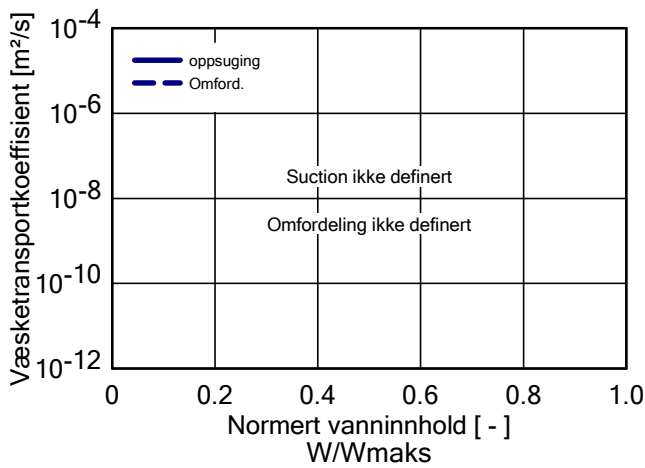
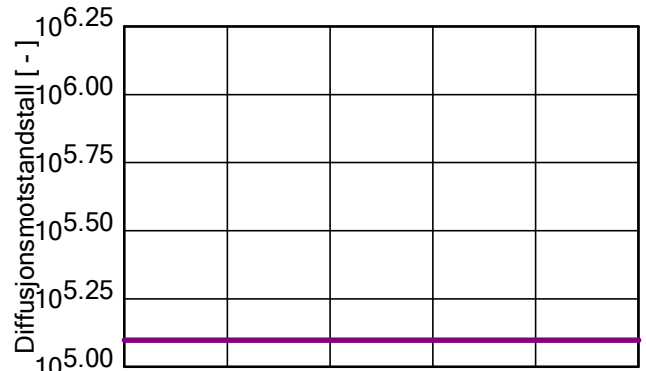
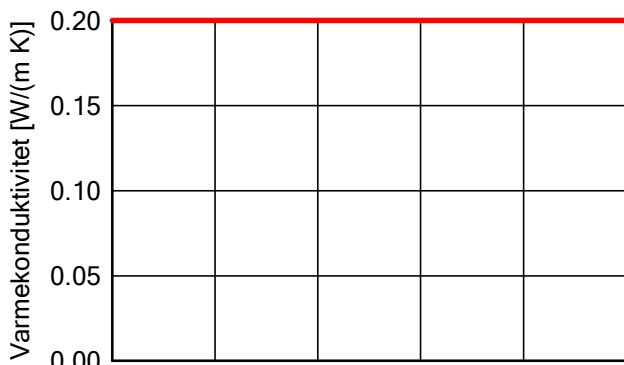
Sd-verdi utven. [m]: 300.0

Samlet tykkelse: 0.238 m

Varmemotstand: 5.09 (m² K)/WU-verdi: 0.19 W/(m² K)

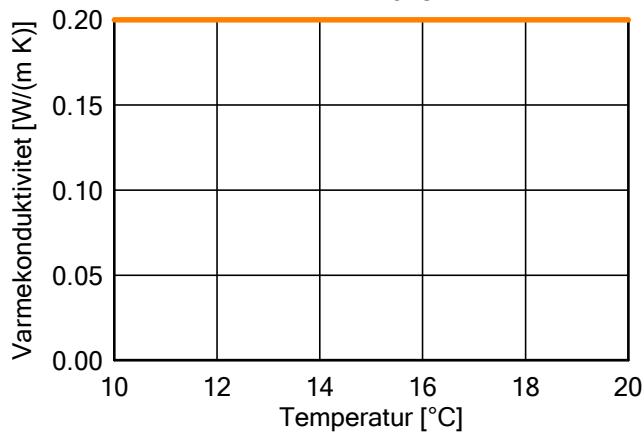
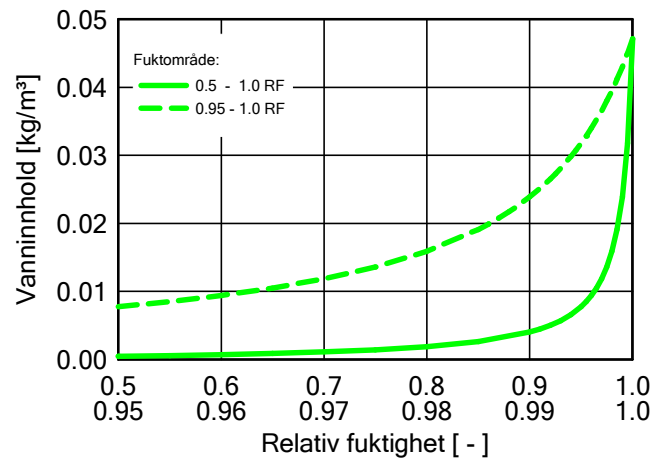
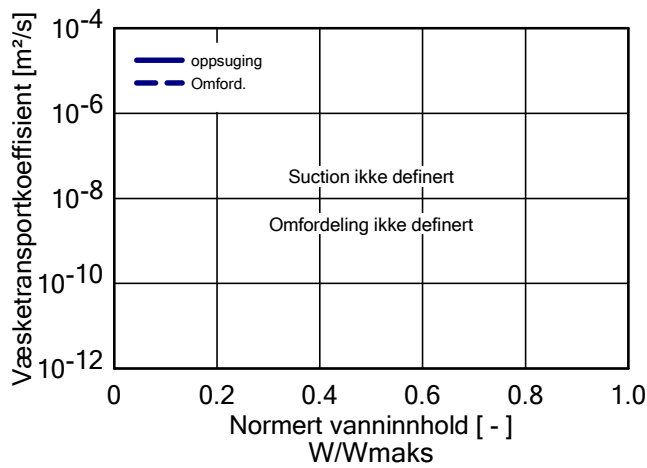
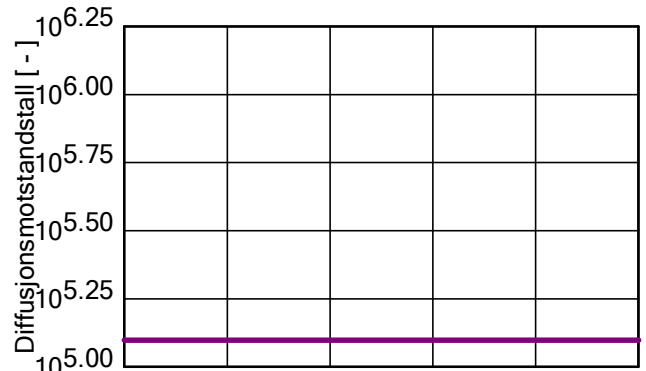
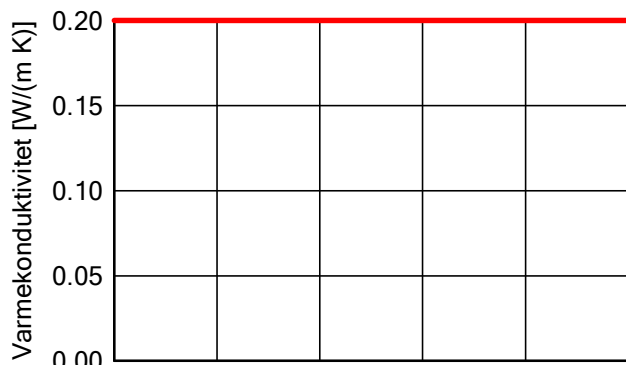
Materiale: EPDM Roofing Membrane, 90 mil

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	850
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.001
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1900
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	125390



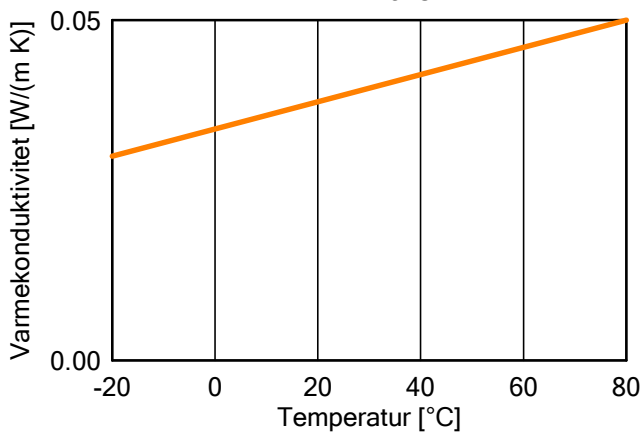
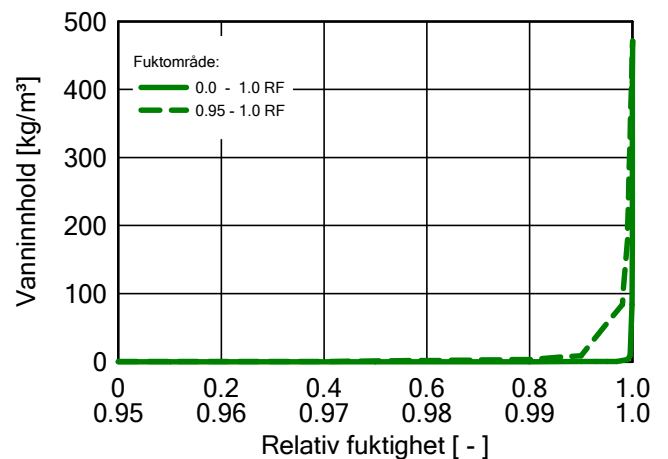
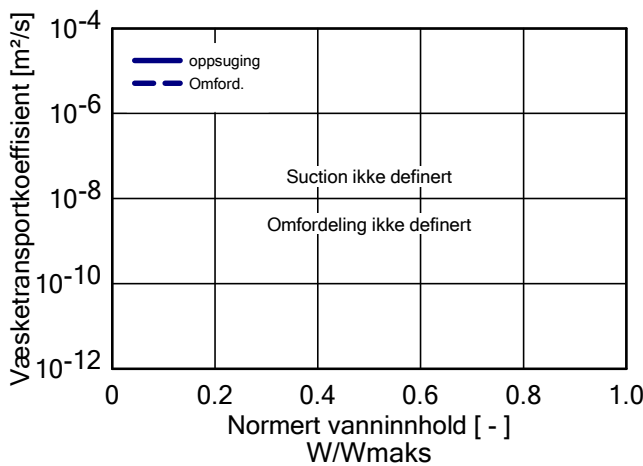
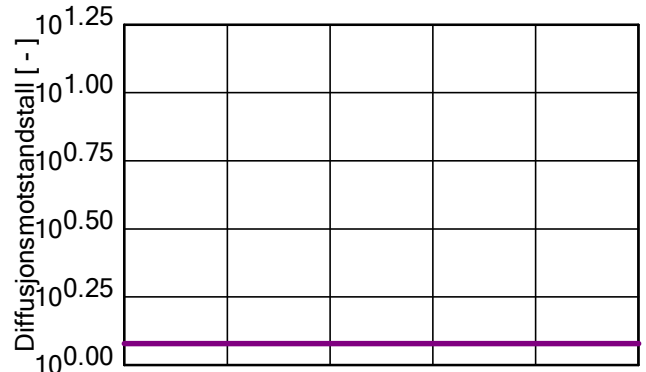
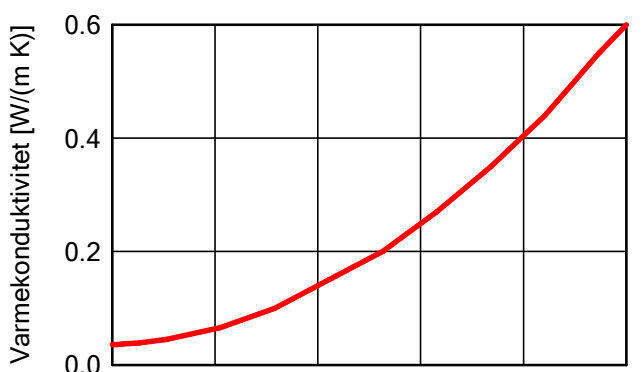
Materiale: EPDM Roofing Membrane, 90 mil

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	850
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.001
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1900
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	125390



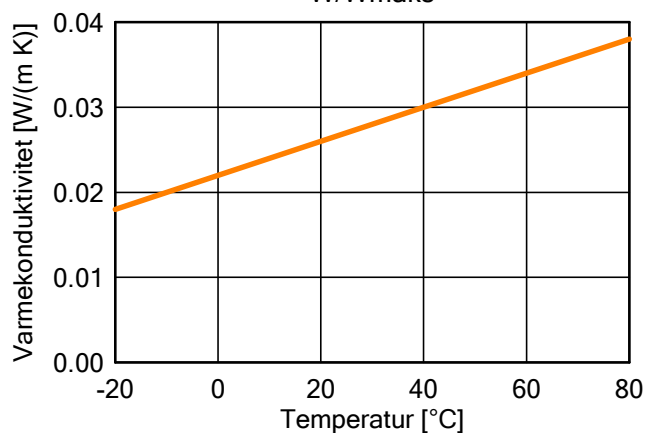
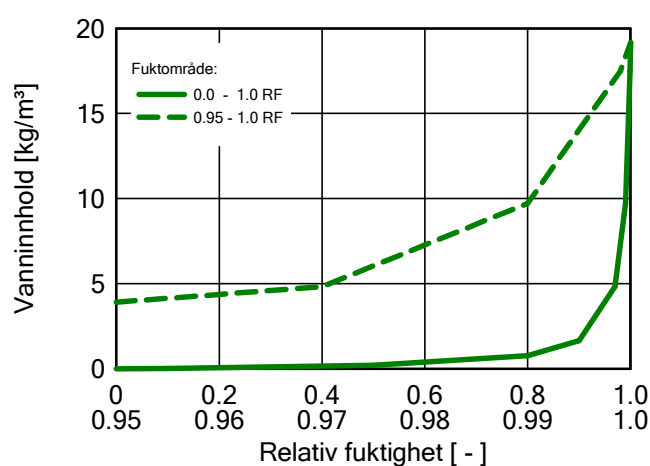
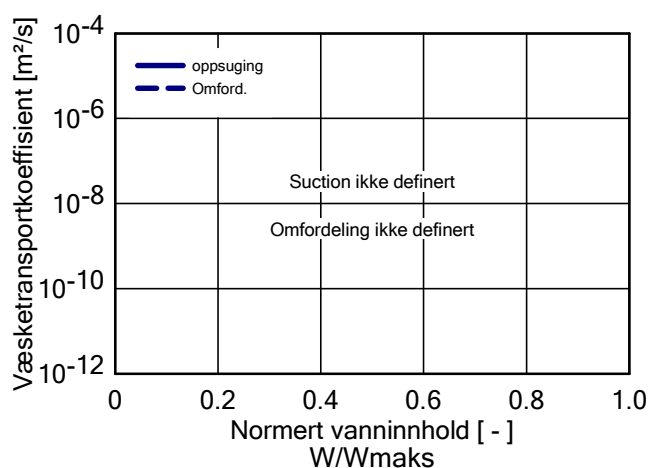
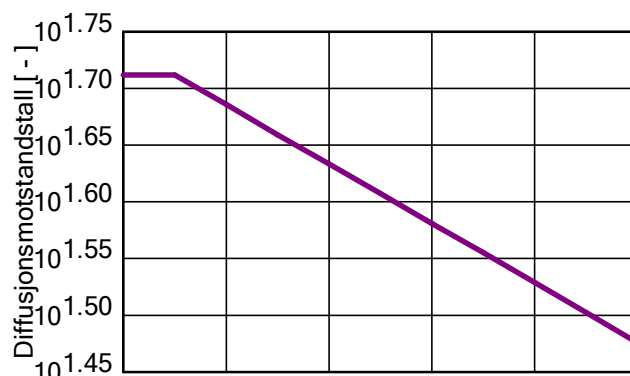
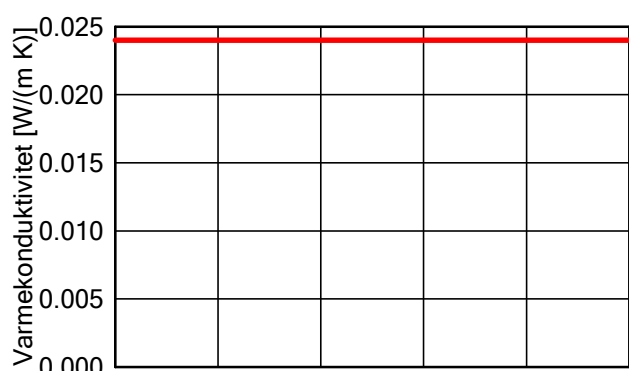
Materiale: ROCKWOOL TOPROCK DD

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	176
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.95
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	850
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.036
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	1.2
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



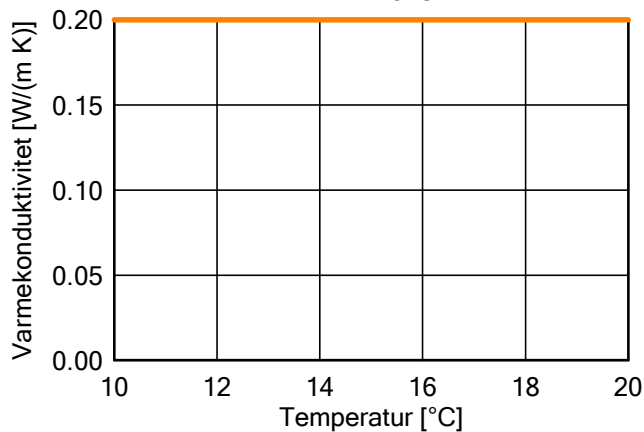
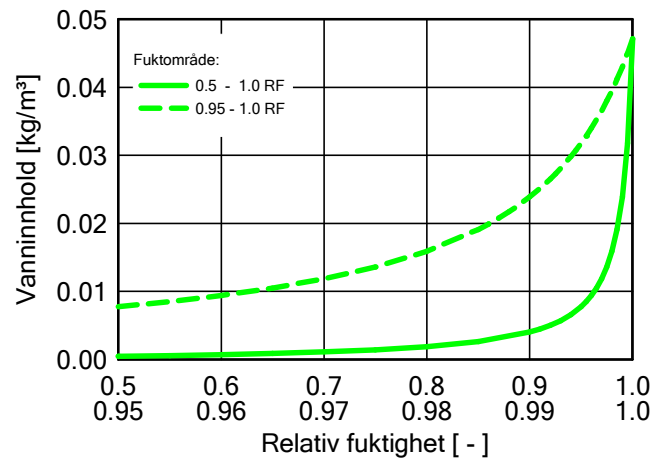
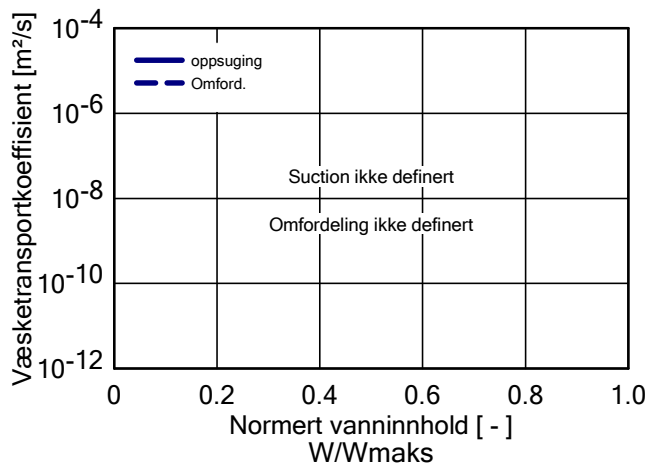
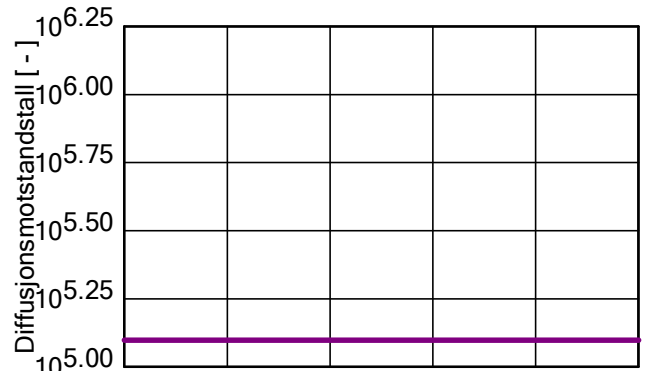
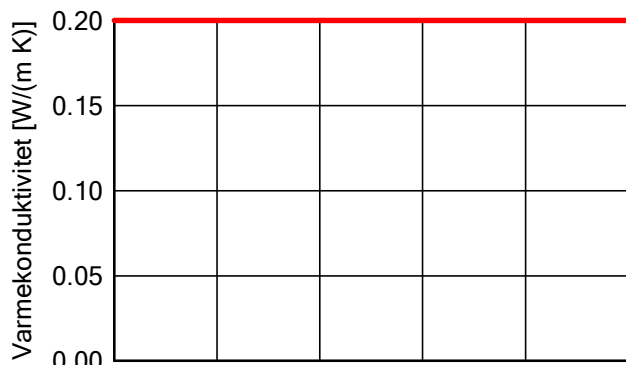
Materiale: Polyisocyanurate Insulation

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	26.5
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.99
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1470
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.024
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	51.5
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



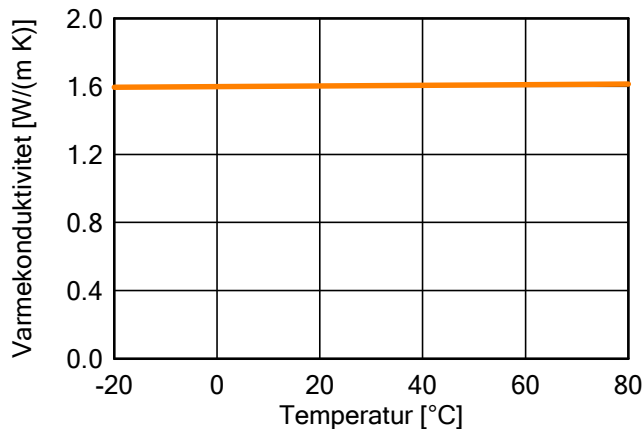
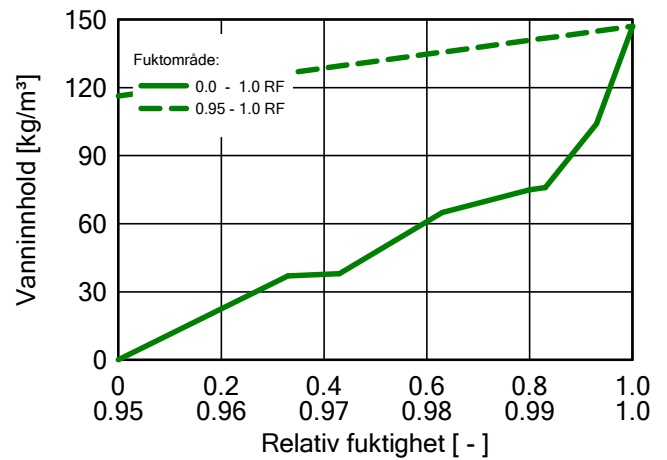
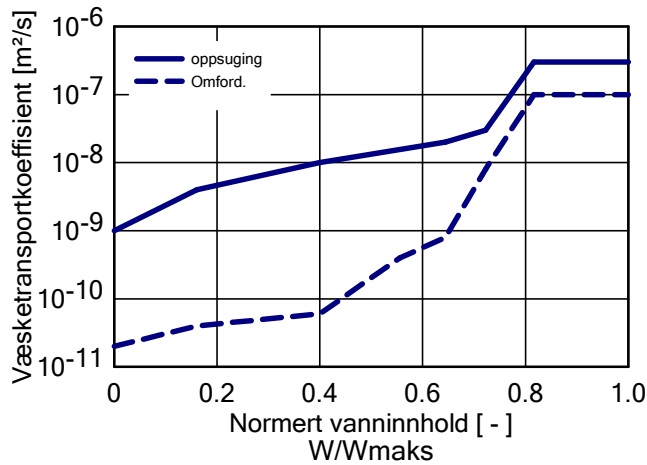
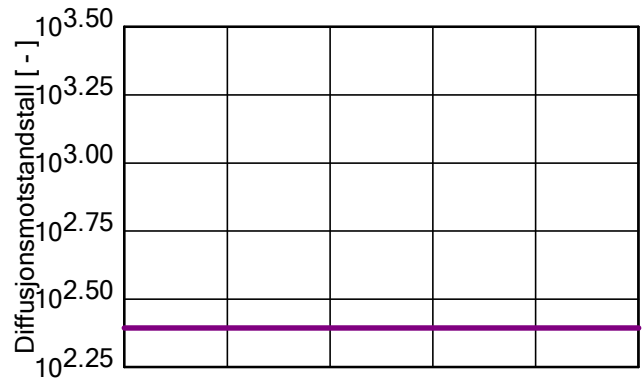
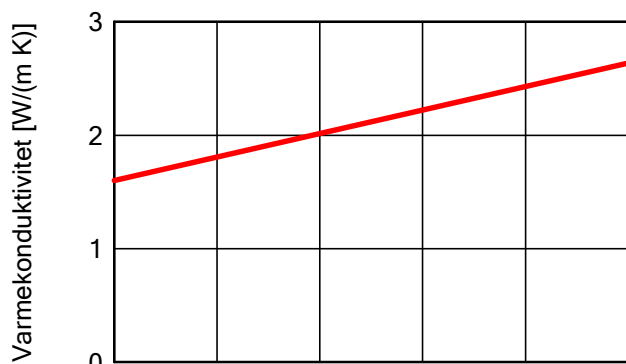
Materiale: EPDM Roofing Membrane, 90 mil

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	850
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.001
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	1900
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	125390



Materiale: Betong B45

Egenskap	Enhet	Verdi
Romdensitet	[kg/m ³]	2220
Porøsitet	[m ³ /m ³]	0.18
Spes. varmekapasitet, tørr	[J/(kg K)]	850
Varmekonduktivitet tørr, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vanndampdiffusjonsmotstand	[-]	248
Varmekonduktivitetstillegg	[%/M.-%]	8
Temp.-avh. varmekondukt. Tillegg	[W/(m K ²)]	0.0002



Randvilkår

Ute (venstre side)

Sted for klima: Trondheim; NBI / NTNU
 Temperaturforskyvning: 0.0 °C
 Orientering / Helning: Nord / 0 °

Inne (høyre side)

Inneklima: EN 15026
 Normal fuktbelastning +5% (Dimensjonerende) (DIN/WTA)

Overflaters overgangskoeffisient

Ute (venstre side)

Navn	Merknader	Enhet	Verdi
Varmemotstand - inkluderer langbølget strålingsbidrag	Tak	[(m ² K)/W]	0.0526 ja
Sd-verdi	Bitumen banebelegg med	[m]	300.0
Kortbølget strålingsabsorpsjonstall	Ingen absorpsjon/emisjon	[-]	----
Langbølget strålingsemissivitet	Ingen absorpsjon/emisjon	[-]	----
Regnvannabsorpsjonstall	Avhengig av komponenthe	[-]	1.0
Eksplisitt strålingsbalanse			nei

Inne (høyre side)

Navn	Merknader	Enhet	Verdi
Varmemotstand	Tak	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-verdi	Ingen overflatebehandling	[m]	----

Resultater fra siste beregning

Status for beregning

Dato/tid for beregning	14.05.2024 17:21:07
Regnetid	0 min,38 sek.
Begynn / Avslutt beregning	01.10.2024 / 01.10.2027
Antall konvergensfeil	18

Numerisk kvalitetssjekk

Samlet fukttransport, utv. (kl,dl)	[kg/m ²]	0.0 -0.0
Samlet fukttransport, innv. (kr,dr)	[kg/m ²]	1.41 0.45
Balanse 1	[kg/m ²]	-1.85
Balanse 2	[kg/m ²]	-1.85

Vanninnhold [kg/m²]

	Start	Slutt	Min.	Maks.
Totalt vanninnhold	7.58	5.67	5.43	7.58

Vanninnhold [kg/m³]

Sjikt/Materiale	Start	Slutt	Min.	Maks.
EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.00	0.01	0.00	0.01
EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.00	0.02	0.00	0.03
ROCKWOOL TOPROCK DD	0.05	1.98	0.05	3.21
Polyisocyanurate Insulation	0.76	0.53	0.15	1.00
EPDM Roofing Membrane, 90 mil	0.00	0.00	0.00	0.00
Betong B45	75.00	55.55	53.18	75.00

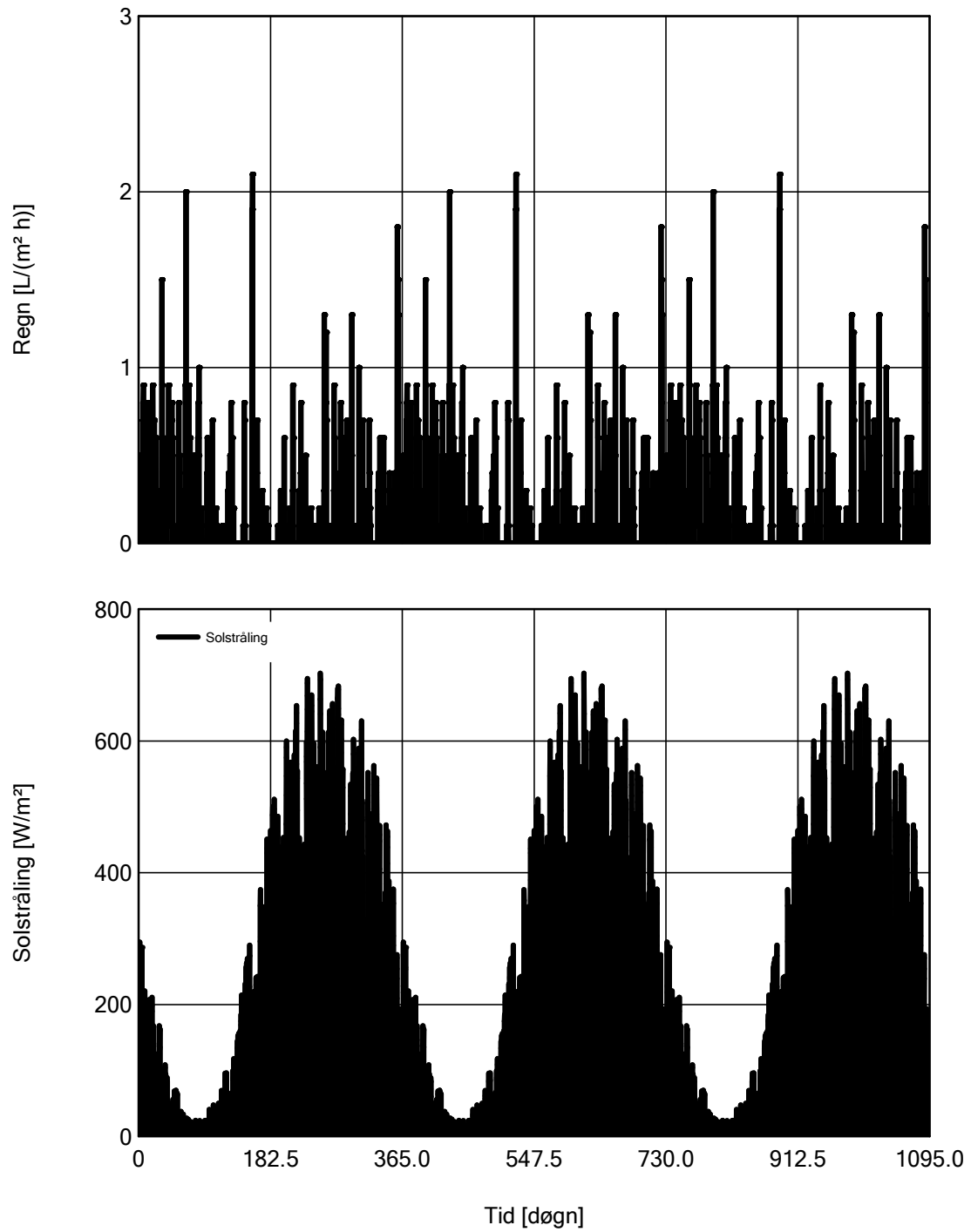
Tidsintegralet av strømingstetthetene

Varmestrømstetthet, venstre side	[MJ/m ²]	-274.92
Varmestrømstetthet, høyre side	[MJ/m ²]	-279.34
Fuktstrømmer, venstre side	[kg/m ²]	-0.0
Fuktstrømmer, høyre side	[kg/m ²]	1.91

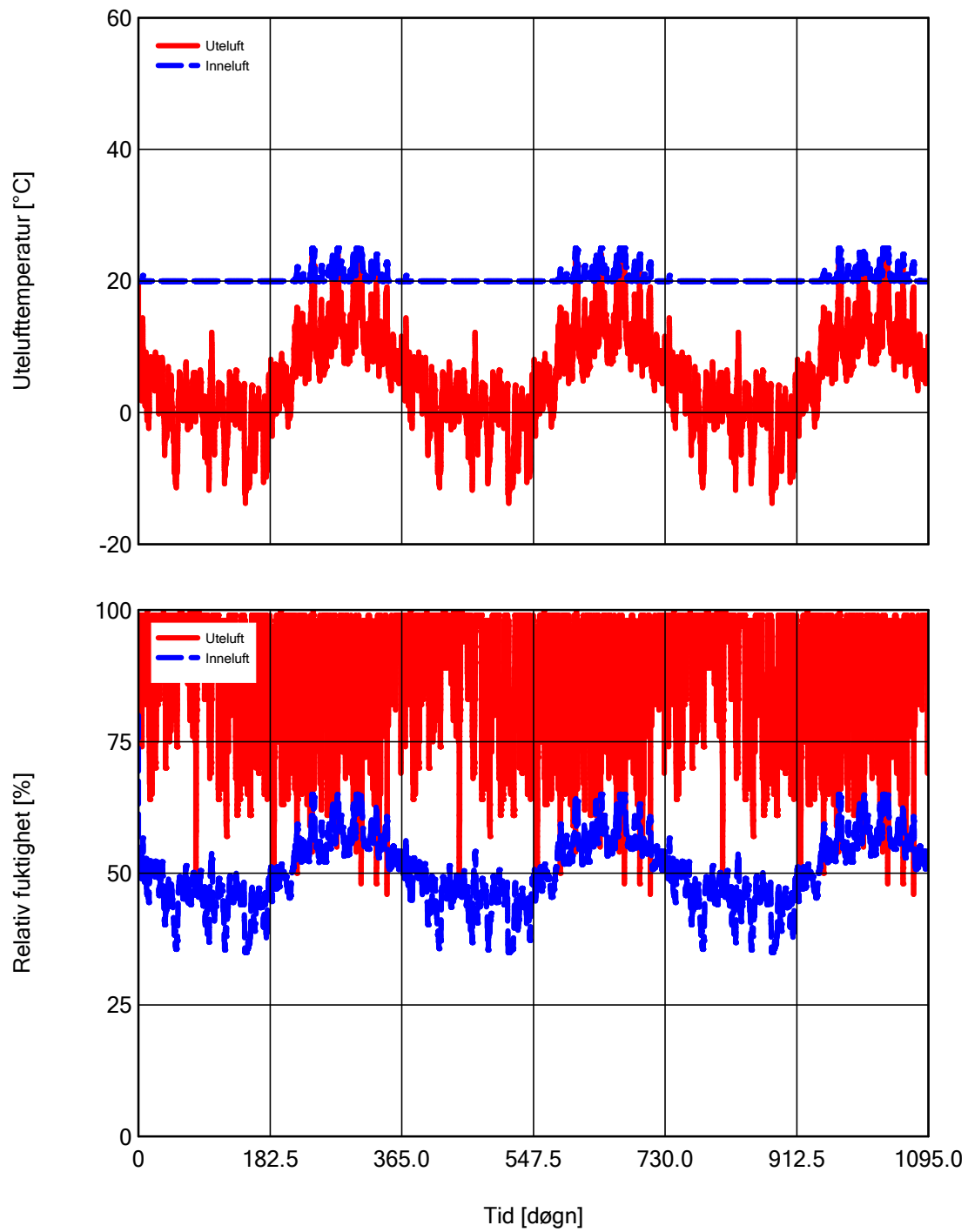
Hygrotermiske kilder

Varmekilder	[MJ/m ²]	0.0
Fuktkilder	[kg/m ²]	0.0
Begrensete fuktkilder	[kg/m ²]	0.0

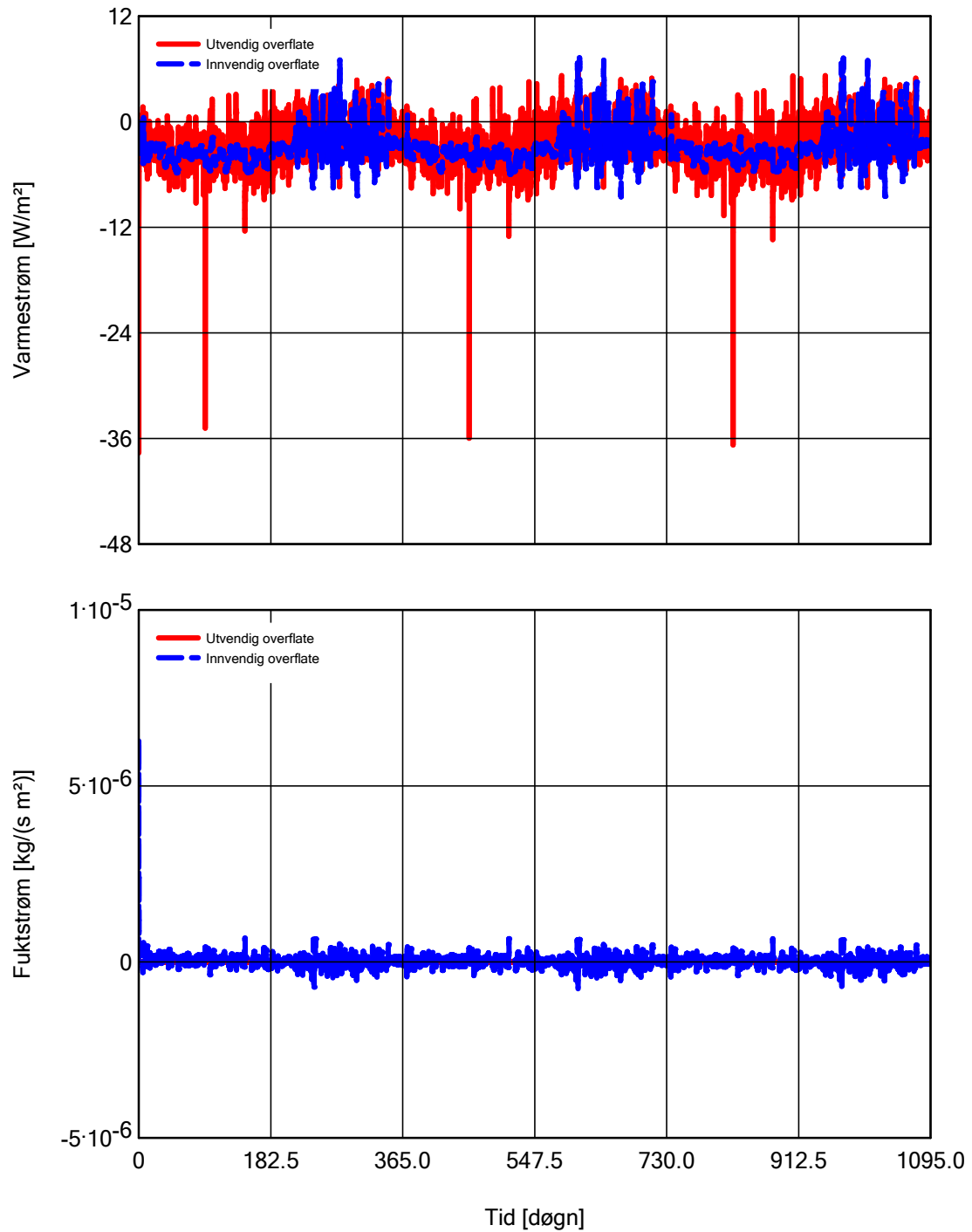
Regn, stråling (Uteklima)



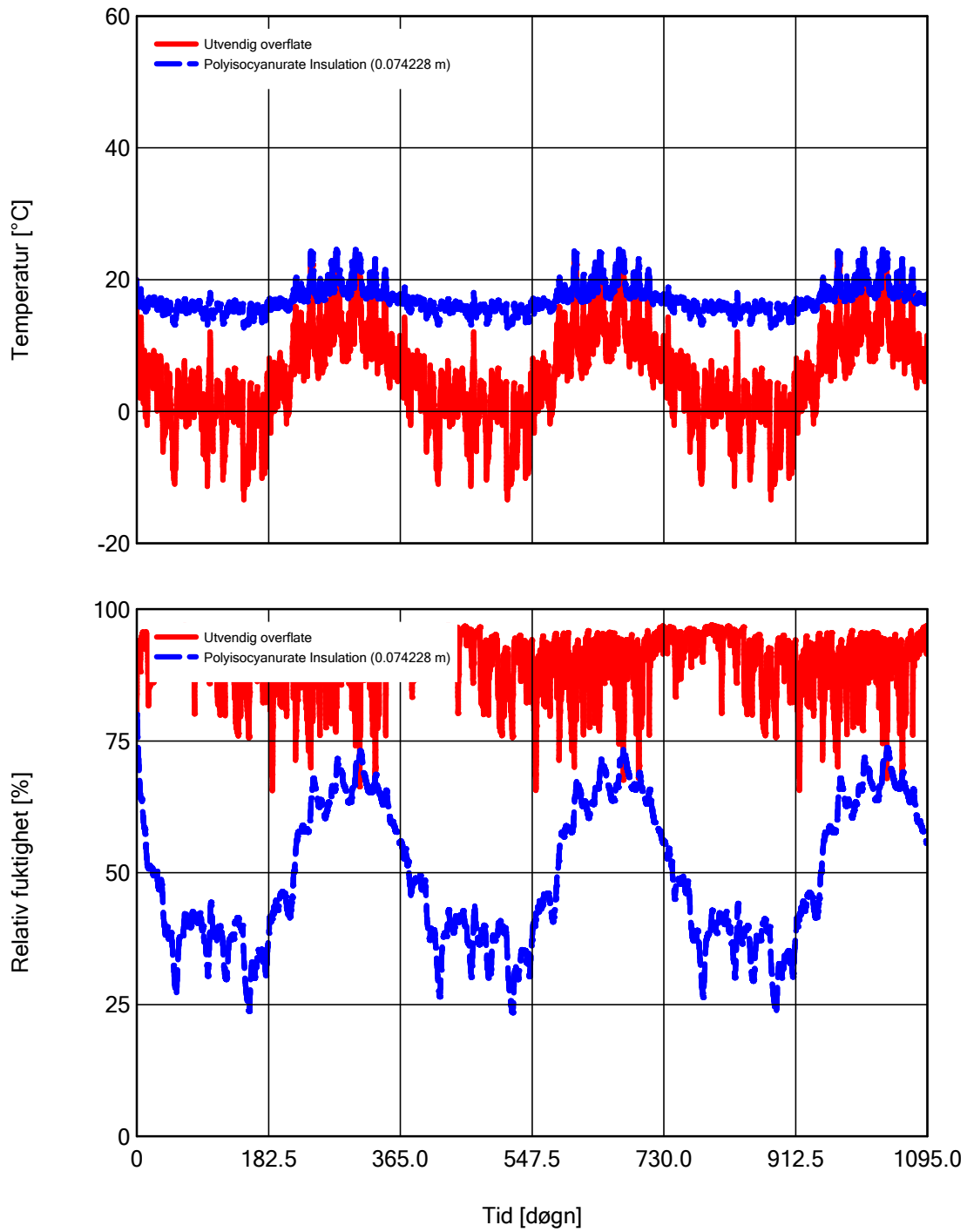
Lufttemp., rel. luftfuktighet (ute, inne)



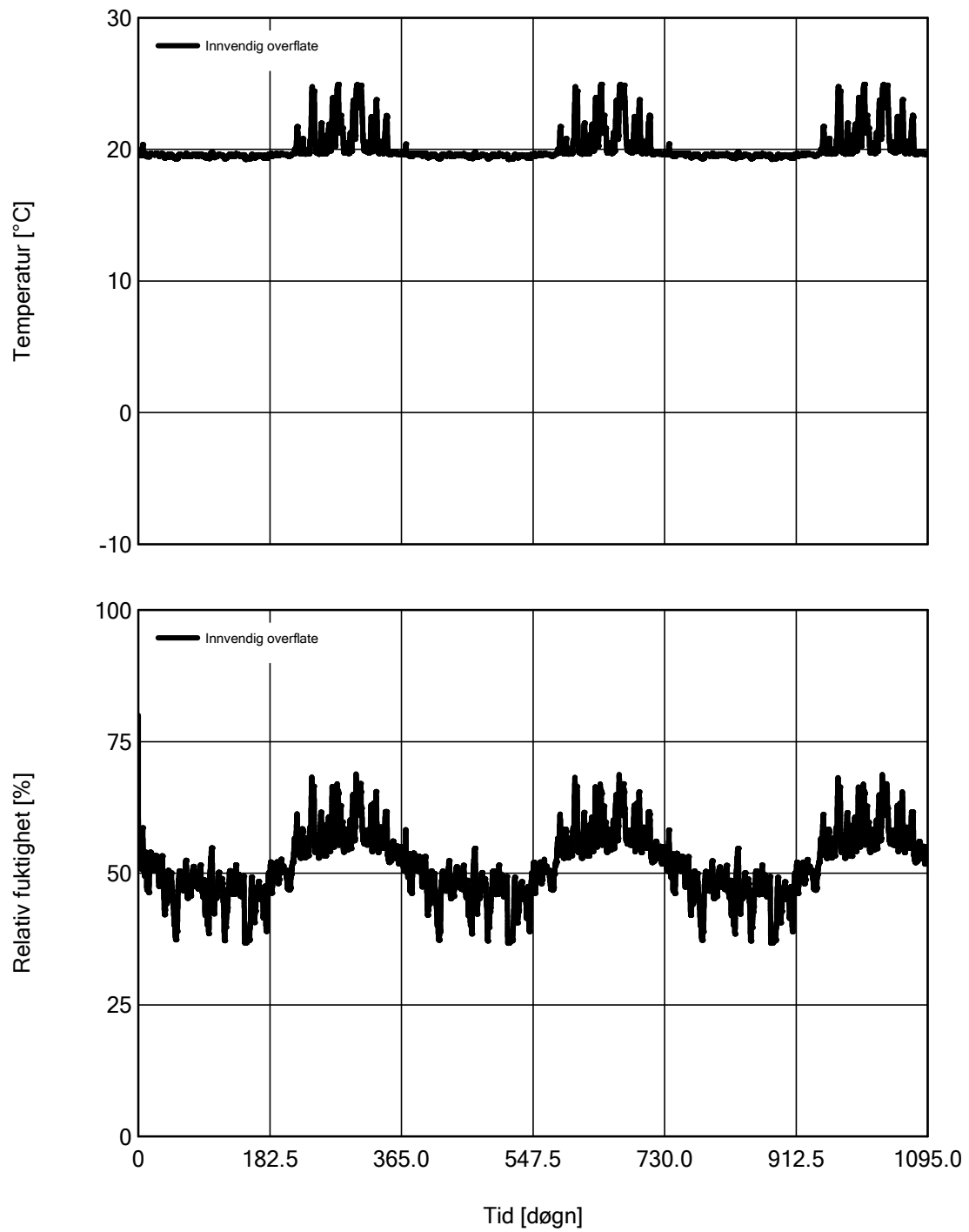
Varme-, Fuktstrøm



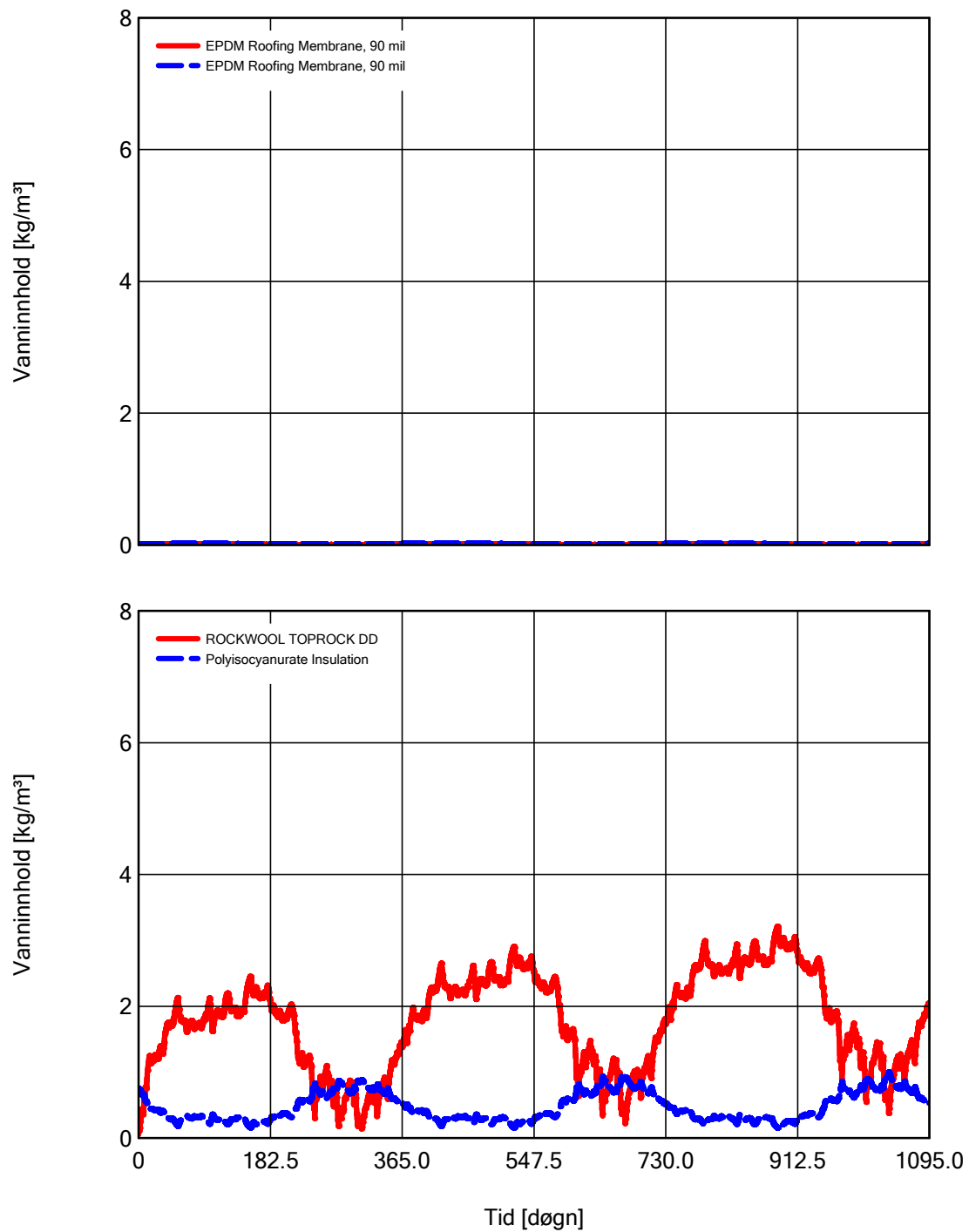
Temperatur, RF (Monitorposisjon 1, 2)



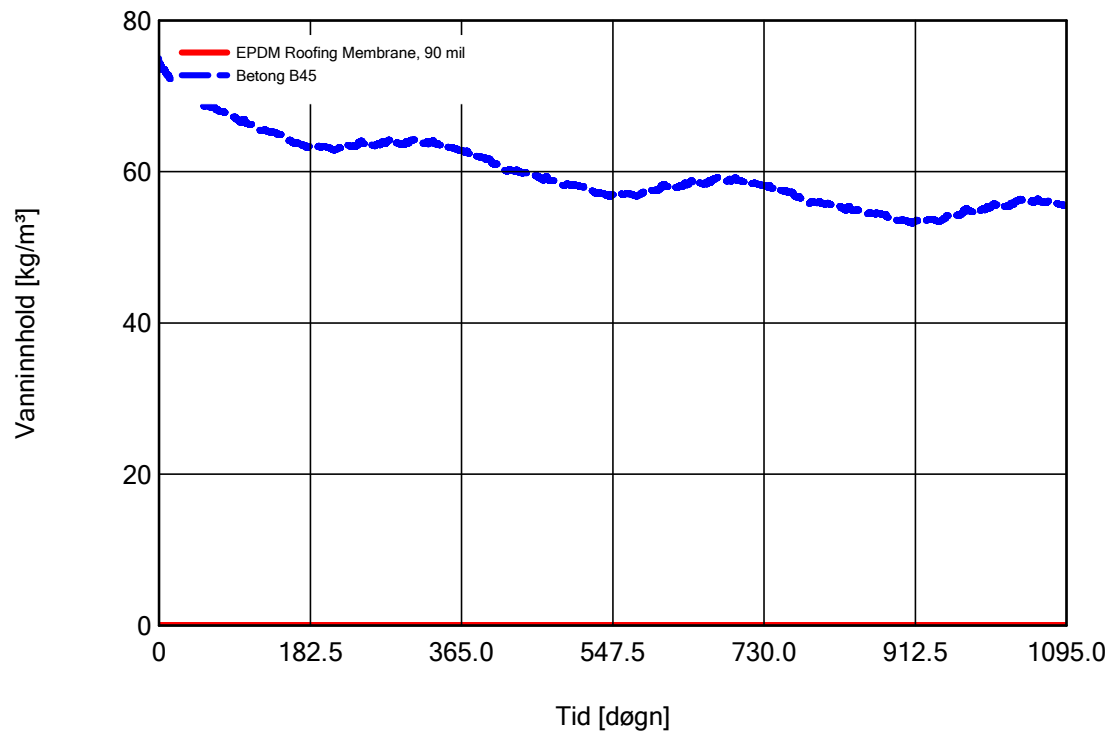
Temperatur, RF (Monitorposisjon 3)



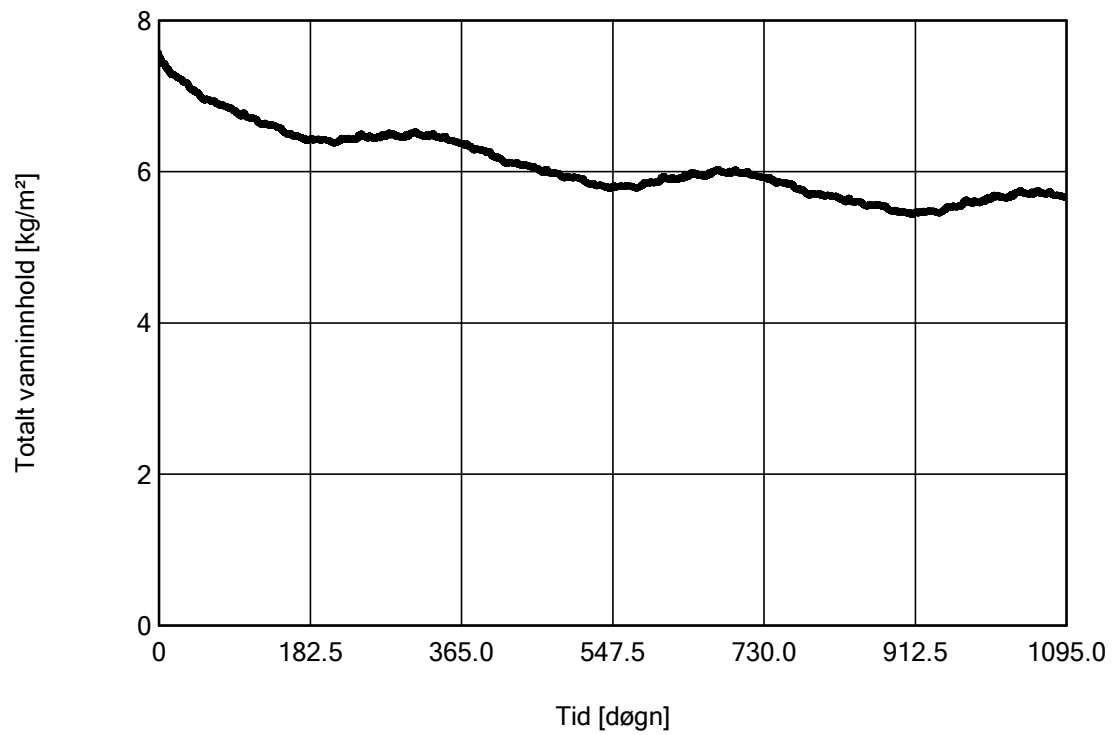
Vanninnhold i enkeltmaterialer



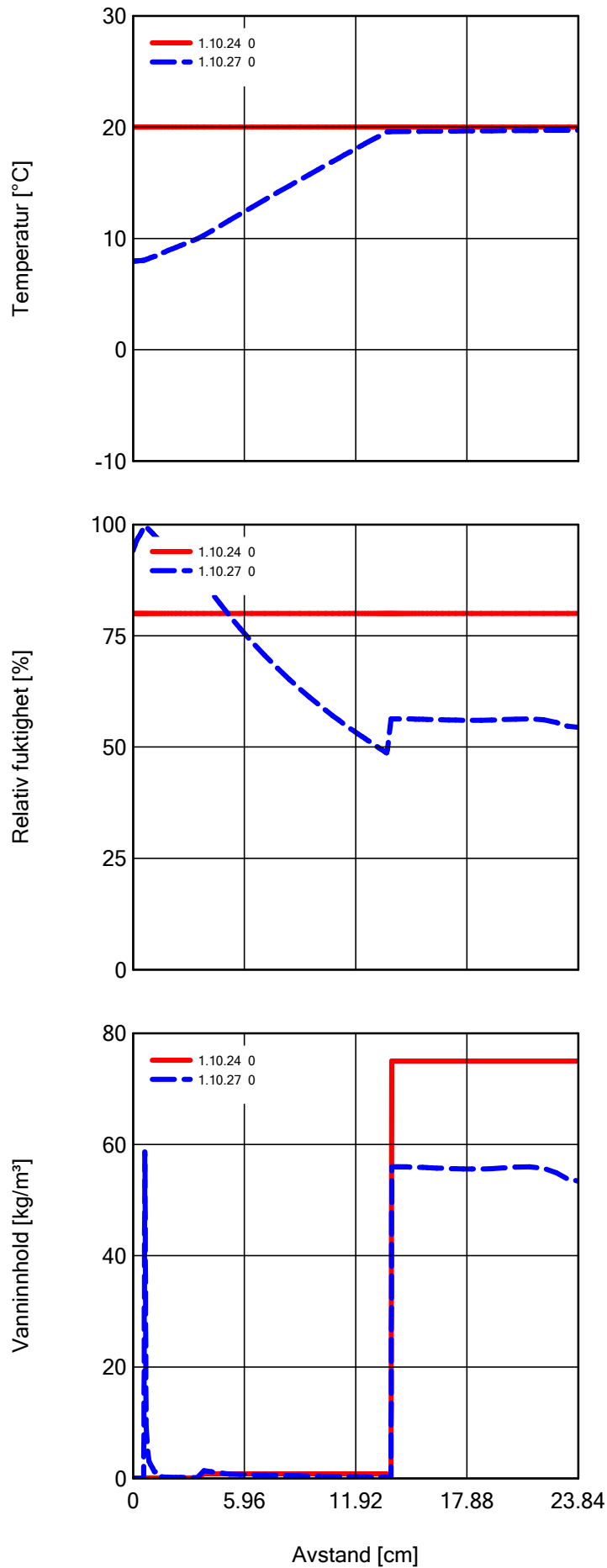
Vanninnhold i enkeltmaterialer



Totalt vanninnhold i konstruksjonen



Profiler



Vedlegg 5

Lastplan fra NCC

Vedlegg 6

Beregninger med THERM

Vedlegg 6: Beregninger med THERM

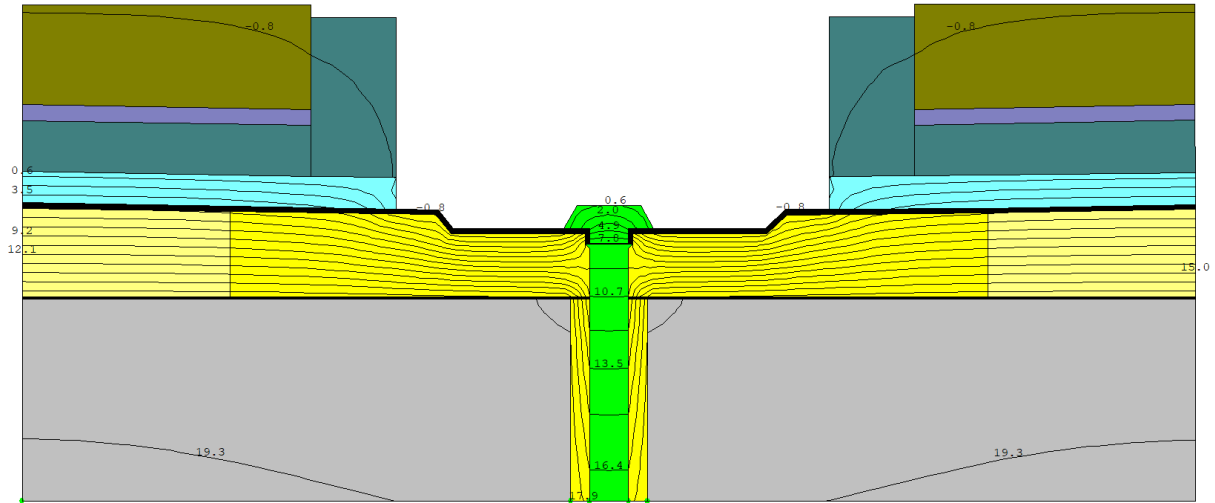
6.1. Inndata for termisk analyse av sluk

Material	Tykkelse	Konduktivitet [W/(mK)]
Betongdekke	320 mm	2,3
Asfaltbelegg	4 mm Dobbelt øvre lag	0,17 [1]
EPS	136 mm ved mineralull	0,038
Mineralull	100 mm ved sluk 30 mm ved nedløpsrør	0,034
XPS	50 mm	0,038
Drenslag	80 mm	2,0 [2]
Drensplate	25 mm	Forenklet til hulrom
Vekstjord	170 mm mot sluk	1,0
Nedløpsrør sluk	62 mm diameter	Forenklet til hulrom
Snø, kompakt	100 mm	0,2 [3]
Snø, lett nysnø	100 mm	0,05 [4]

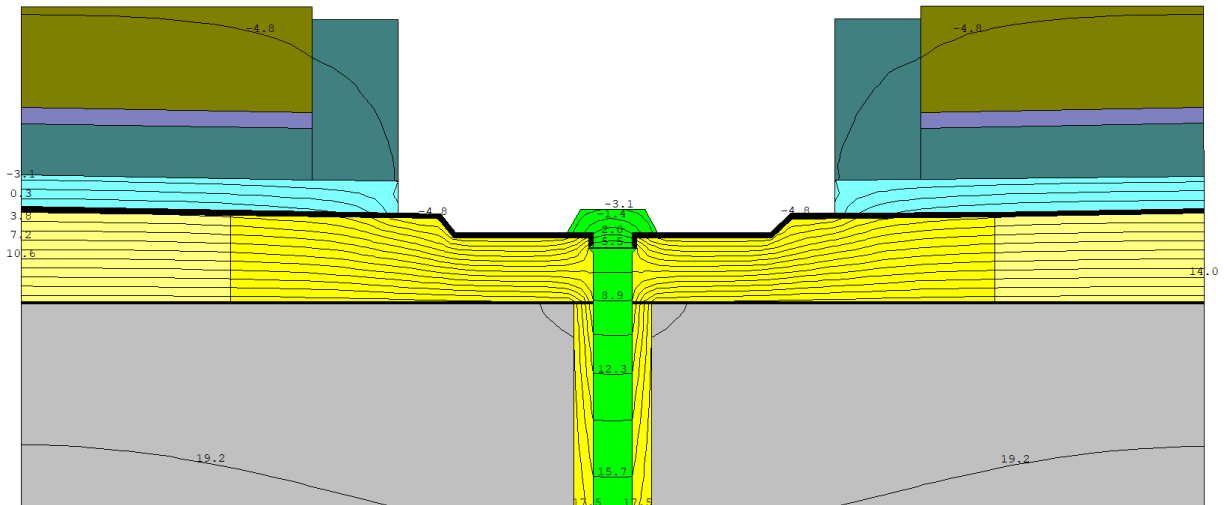
Område	Overgangsmotstand [m^2K/W]
Utvendig	0,04 [5]
Innvendig	0,10 [5]

6.2. Uten snø

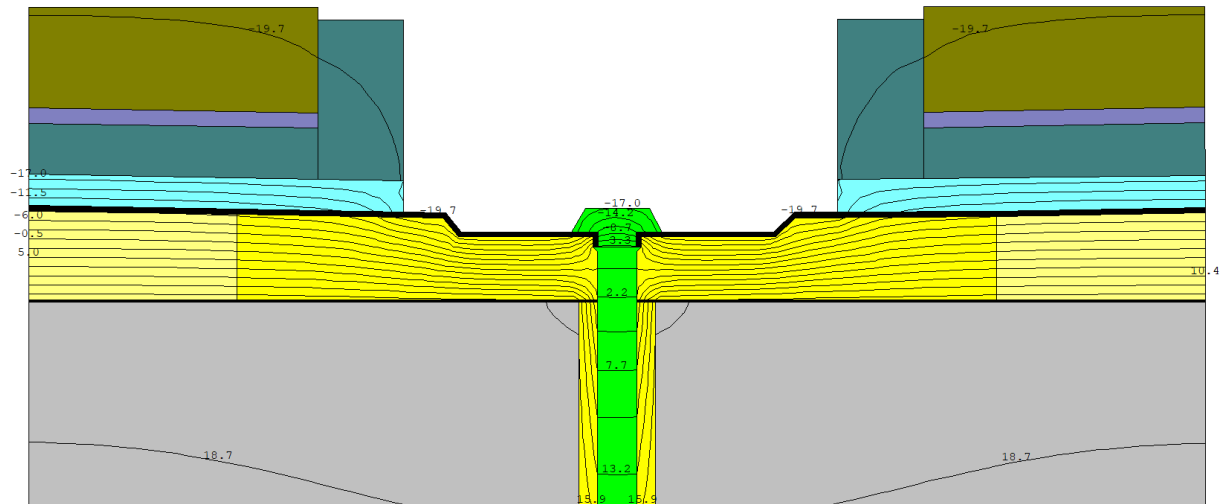
6.2.1. Utetemperatur -1 °C



6.2.2. Utetemperatur -5 °C

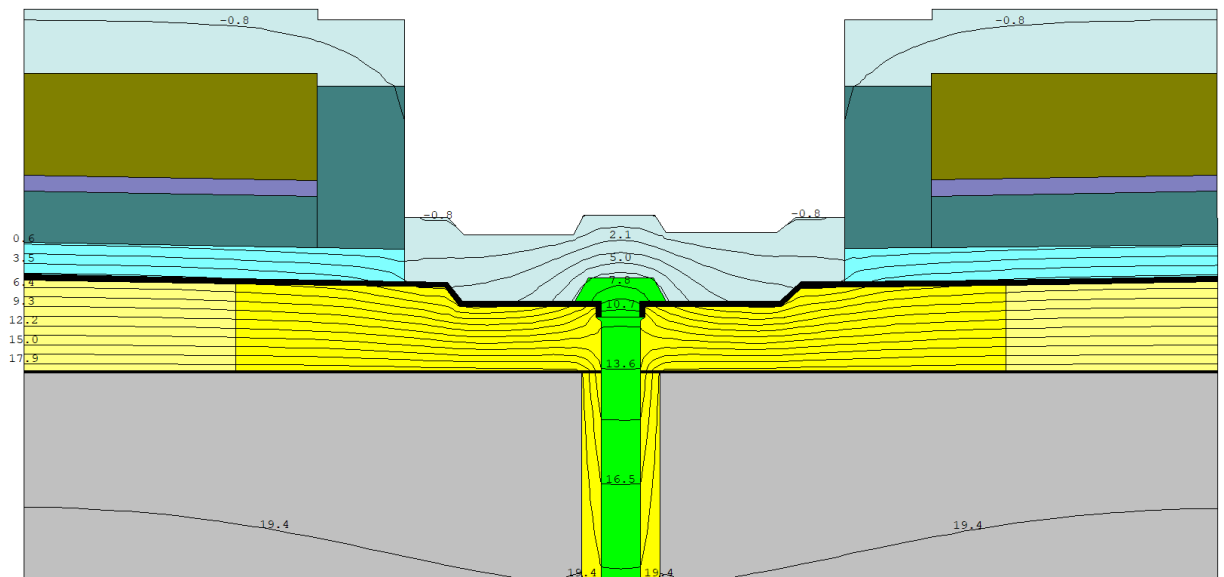


6.2.5. Utetemperatur -20 °C

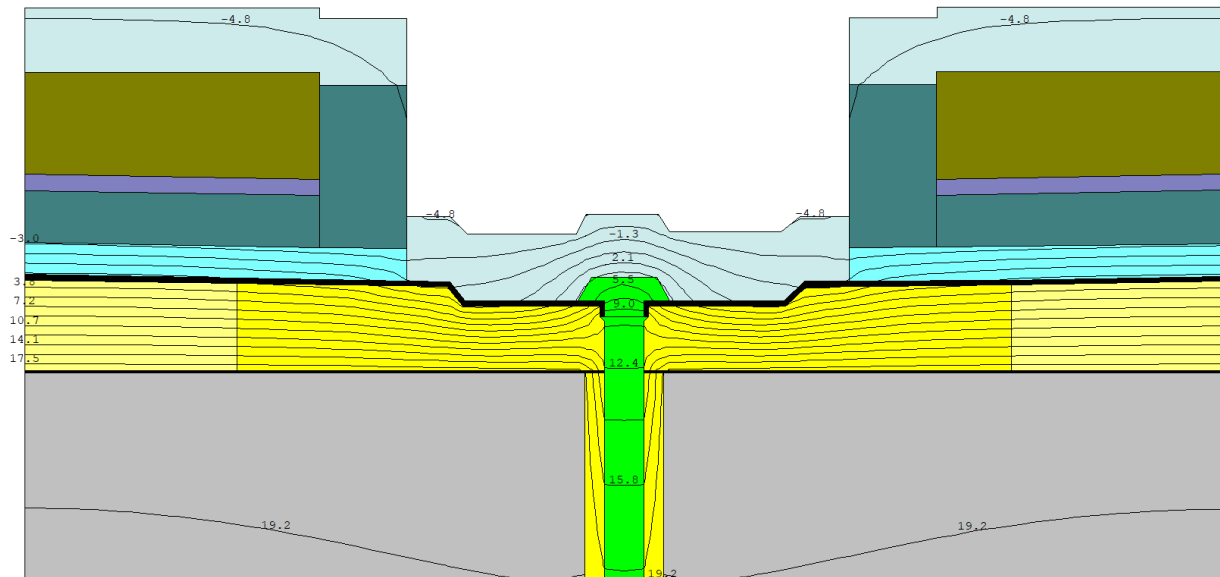


6.3. Temperaturoversikt 10 cm kompakt snø

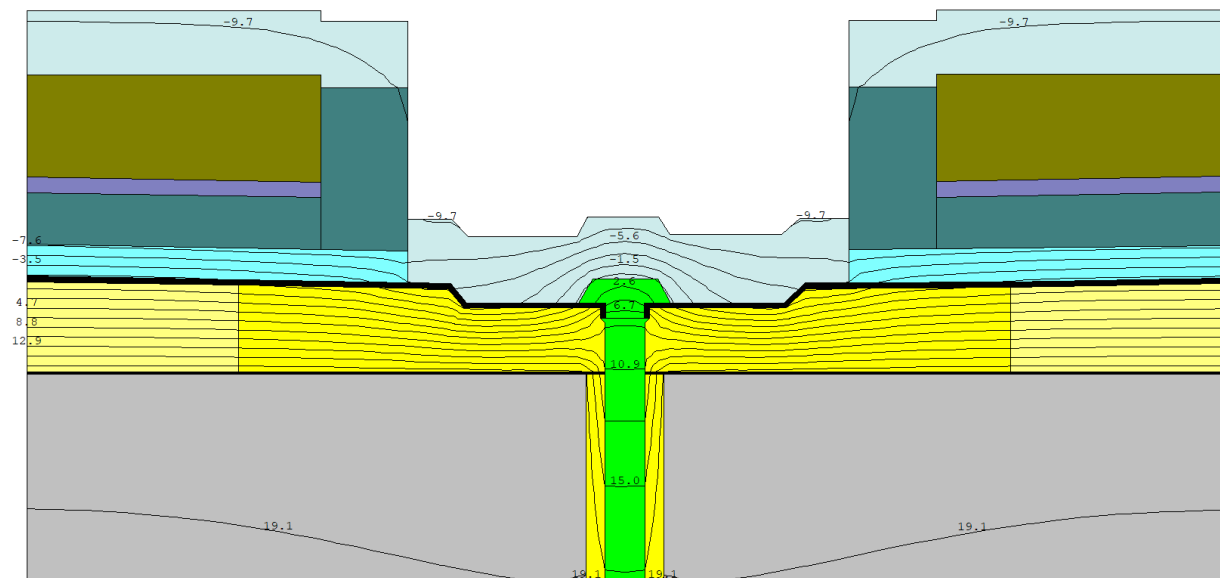
6.3.1. Utetemperatur -1 °C



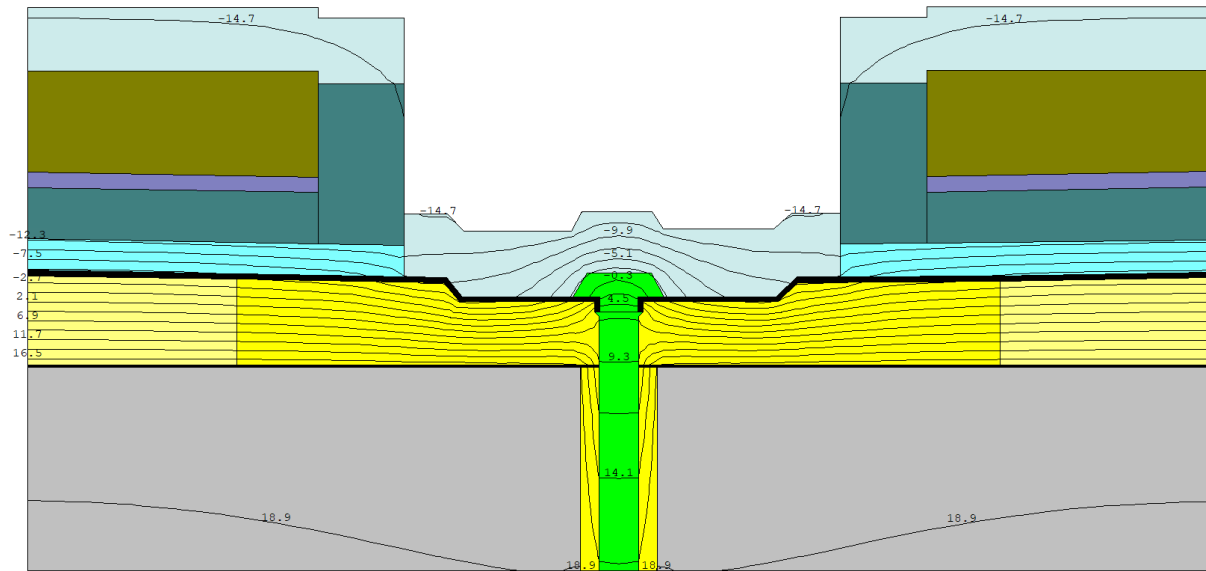
6.3.2. Utetemperatur -5 °C



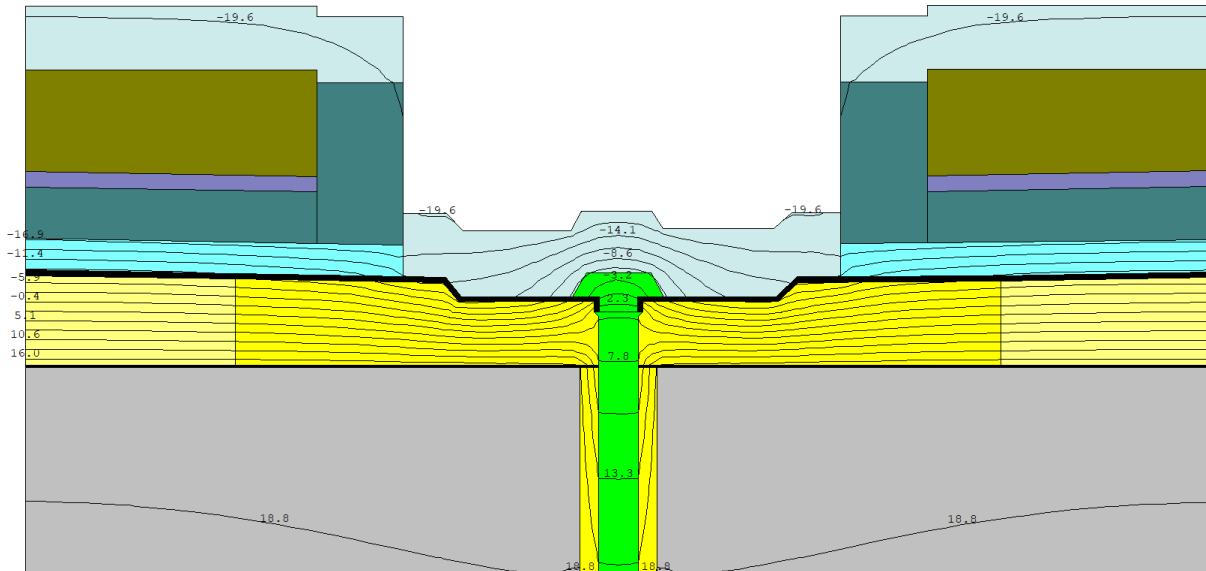
6.3.3. Utetemperatur -10 °C



6.3.4. Utetemperatur -15 °C

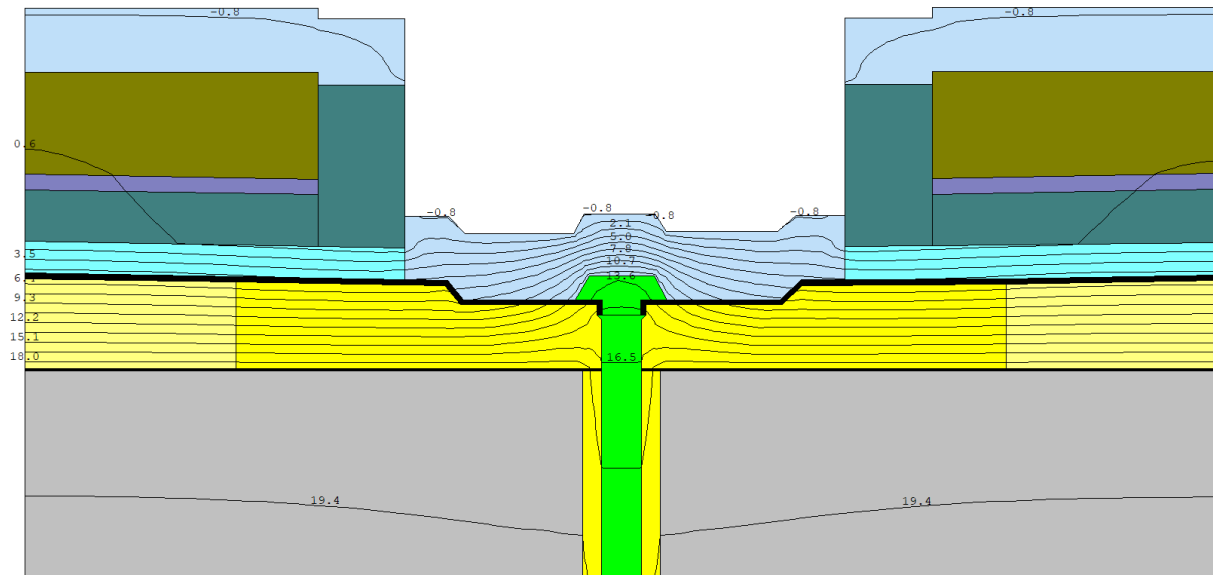


6.3.5. Utetemperatur -20 °C

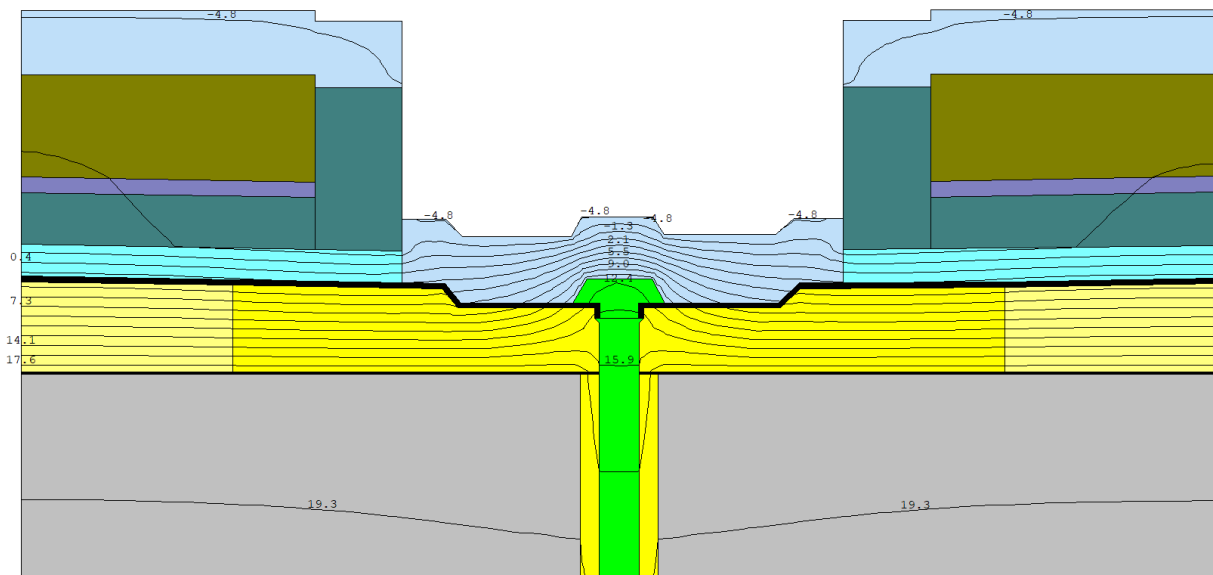


6.4. Temperaturoversikt 10 cm lett nysnø (0,05)

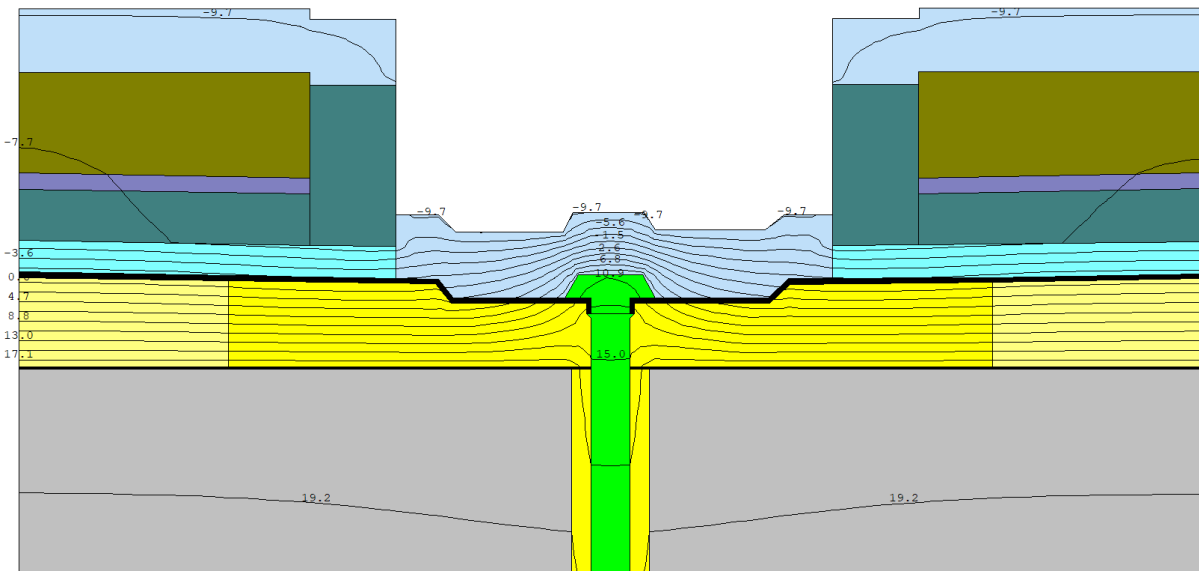
6.4.1. Utetemperatur -1 °C



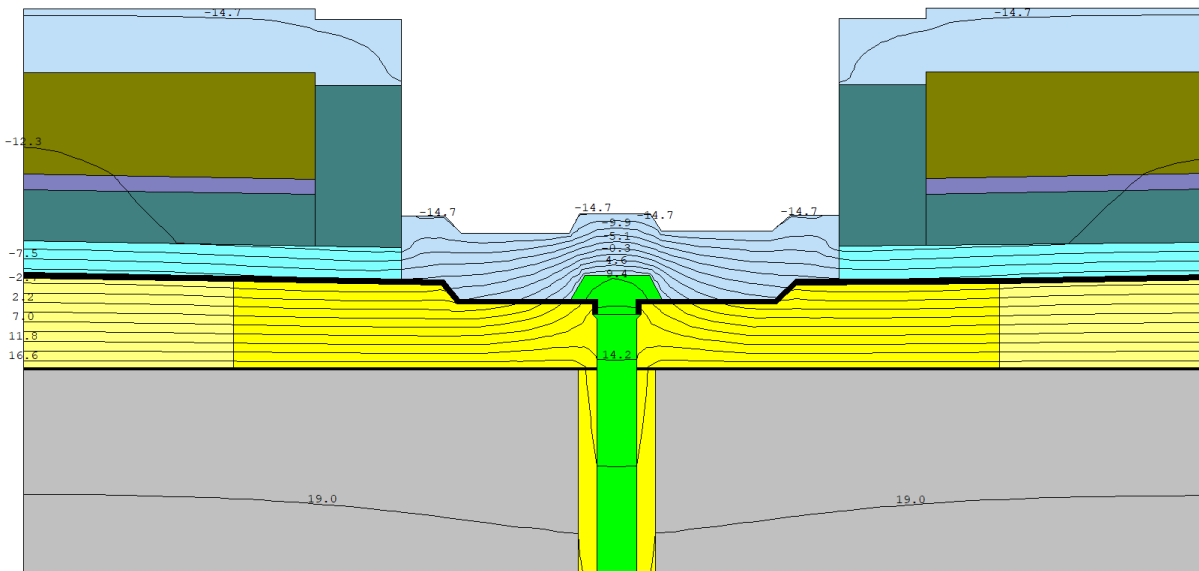
6.4.2. Utetemperatur -5 °C



6.4.3. Utetemperatur -10 °C

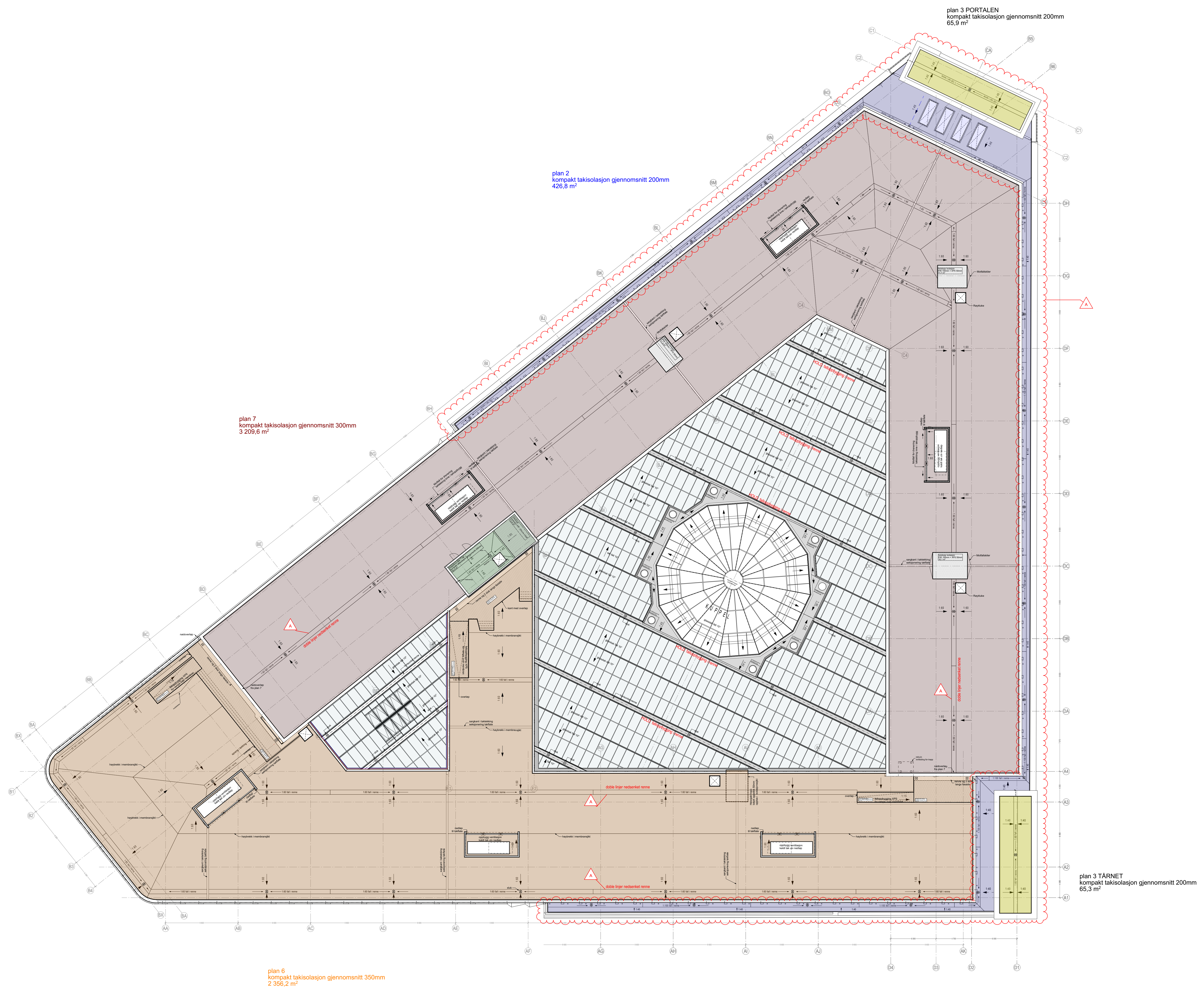


6.4.4. Utetemperatur -15 °C



Vedlegg 7

Tegninger fra NCC



MERKNADER

Byggetaljer ytter skall

Generelt: Byggetaljene har referanse fra ARK etasjeplaner, snitt og skjemategninger. Detaljmarkeringene viser ID-referanse til den enkelte detalj og tegningsnummer. ID-markeringene viser til prosjekts etasjeplan og etablerte hovedsnitt A-H så langt dette kan spesifiseres. For generelle detaljer og andre lokaliseringer er ledd i ID-referansen markert "X".

Elementfasader (Unitized Curtain Walls)

Generelt: se detaljtegninger og teknisk dokumentasjon fra leverandør KIG Construction. Ordning elementfasader (UCW) og plassbygde fasader er vist som tekstinfo og grafiske skillelinjer på fasadetegning. Detaljer og profilversnitt fra UCW fasadeleverandør inngår for å vise nødvendige overgangsdetaljer mellom elementfasader og andre, plassbygde bygningsdeler. For tekniske detaljer i grensesnitt som inneholder andre lag, fasadestystem og prefab konstruksjon mv gjelder leverandørens tegninger foran. Konstruktiv inndeling av UCW-elementfasader til byggets bæresystem: se også montagedetaljer RIB/helb.

Måling

Bygningens faste etasj nivå ferdig gulv er angitt som referanselinjer med kotehøyde. Kotehøyder for bygningssjeler og terreng mv er målt til nye flate og ferdig gulv. Se også snitt og BIM-modell. Måling av terreng ved fasade M LARK landskapsplan. Se også premisser for målinger i øvrige tegninger for disse henviser til hverandre (aksomet), må til talet konstruksjoner, stenderverk, byggetaljer og inndelingstil iht skjemategninger).

Tekniske krav

Se premissdokument fra:

- Brannetrisks rådgiver
- Lydteknisk rådgiver
- Bygningfysiske rådgivere inkludert energiberegning, isolasjon og fuktregning samt daglysberegning.

Byggetaljene er basert på premissdokumentene men inneholder generisk grafikk på f.eks profilversnitt og glassoppbygging mv.

Dører, porter, vinduer og fasadeglass

Se egne skjemategninger og premissdokument.

Glasstak

Glasstaksystem: se egne tegninger fra leverandør Renne og bærer: se egne stål tegninger fra RIB/helb.

- FARGEKODER:**
- ORANSJE: takisolasjon og tkking plan 6
 - RØD: takisolasjon og tkking plan 7
 - GRØNN: takisolasjon og tkking trappetas over plan 7
 - BLÅ: takisolasjon og tkking takflate mellom eksisterende og ny fasade
 - GUL: takisolasjon og tkking tak over PORTALEN og TÅRNET plan 3
- SKJAVUR:**
- kompakt duotak, fullisoleret EPS + XPS
 - tykkfaset isolasjon med redusert tykkelse og lav varmekonduktivitet
 - ubrennbar isolasjon (ikke uttømmende oversikt)

17.04.2024	KJ	OK	Konferansetegnning: Sluttstilling plan 2 og revidering A
09.11.2022	KJ	BE	Generelt godkjent for leverandør takisolasjon (Rødt kuppel glassstål store atum kuppel 15 grader) (Rødt atum rener innbygget duglasssystem)
Rev. dato	Typ	Kode	Beskrivelse

Teknisk ansvar

NCC Norge AS
Strandveien 164
2050 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

Prosjektansvar

Piv AS
SIVILARKITEKTER M.NAL
FJORDGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 51 00
firmapost@piv.no | www.piv.no

Byggherrens ansvar

Teknostallen BT5
KLP TeknoByen AS
orgnr 690 580 746
vdt 041 041
KLP Eiendom Trondheim AS

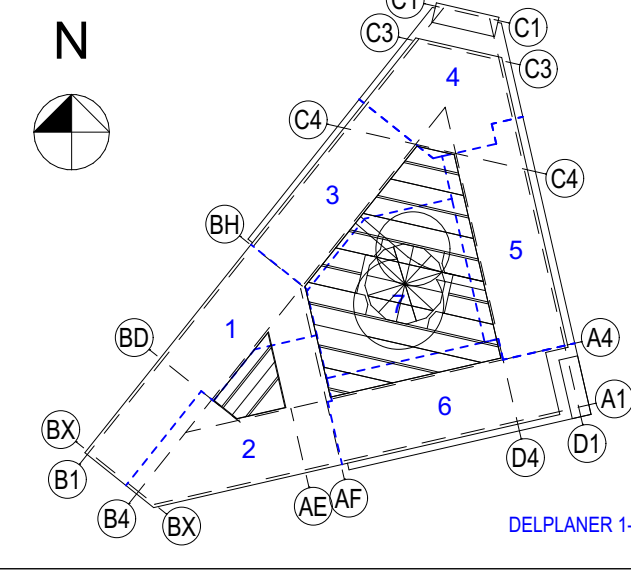
Tegningstittel

DETALJPROSJEKT

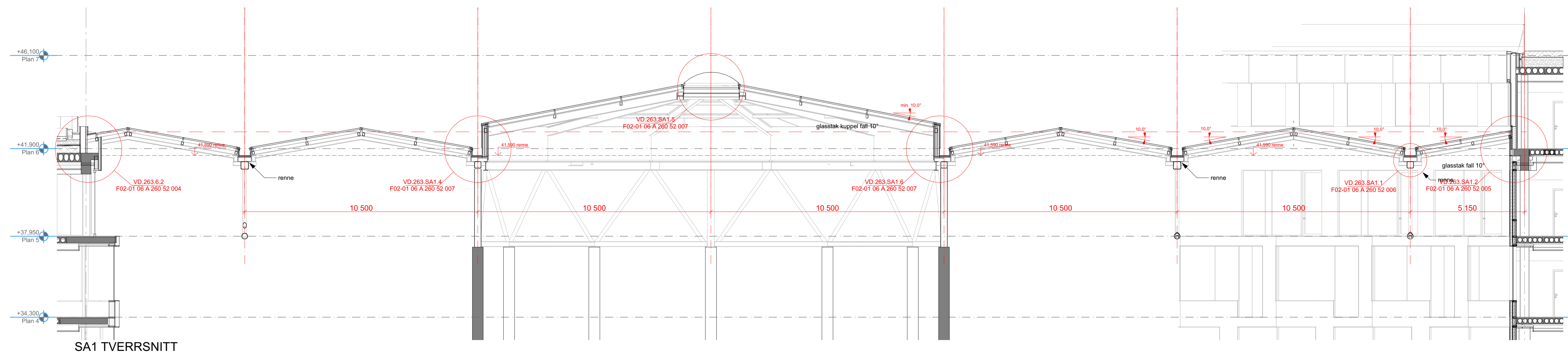
Tegningsstatus

Arbeidstegning

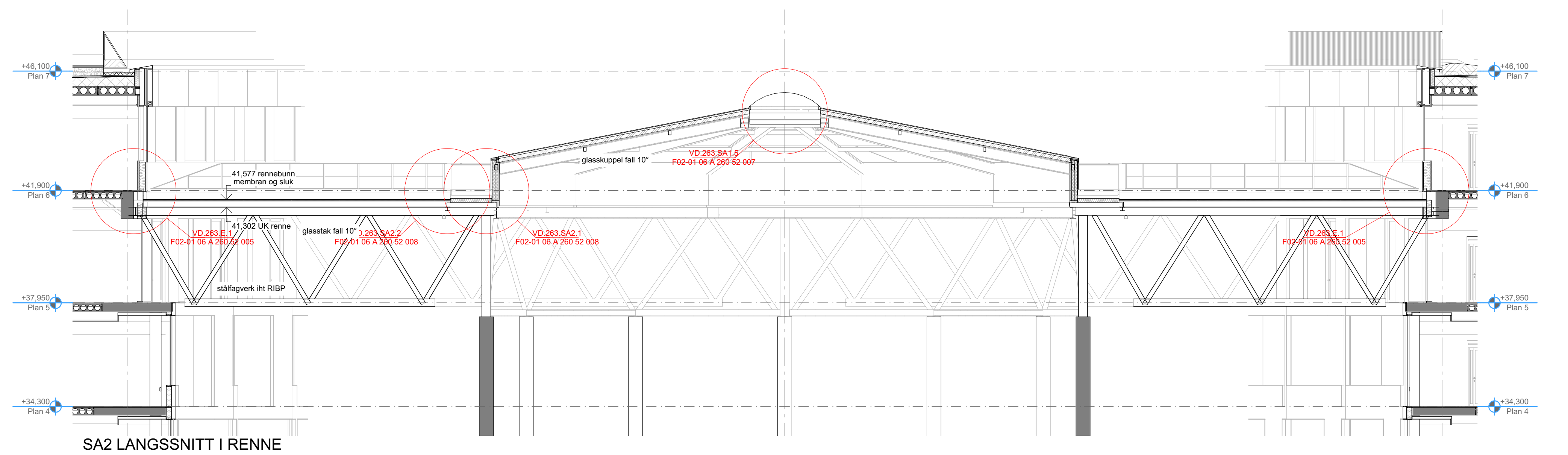
© Tegning kan bli brukt, endret eller senere sammenheng som beskrevet uten skriftlig tillatelse. Alle tegninger er merket "REVISJONER" for å sikre at prosjekteringene er oppdaterte.



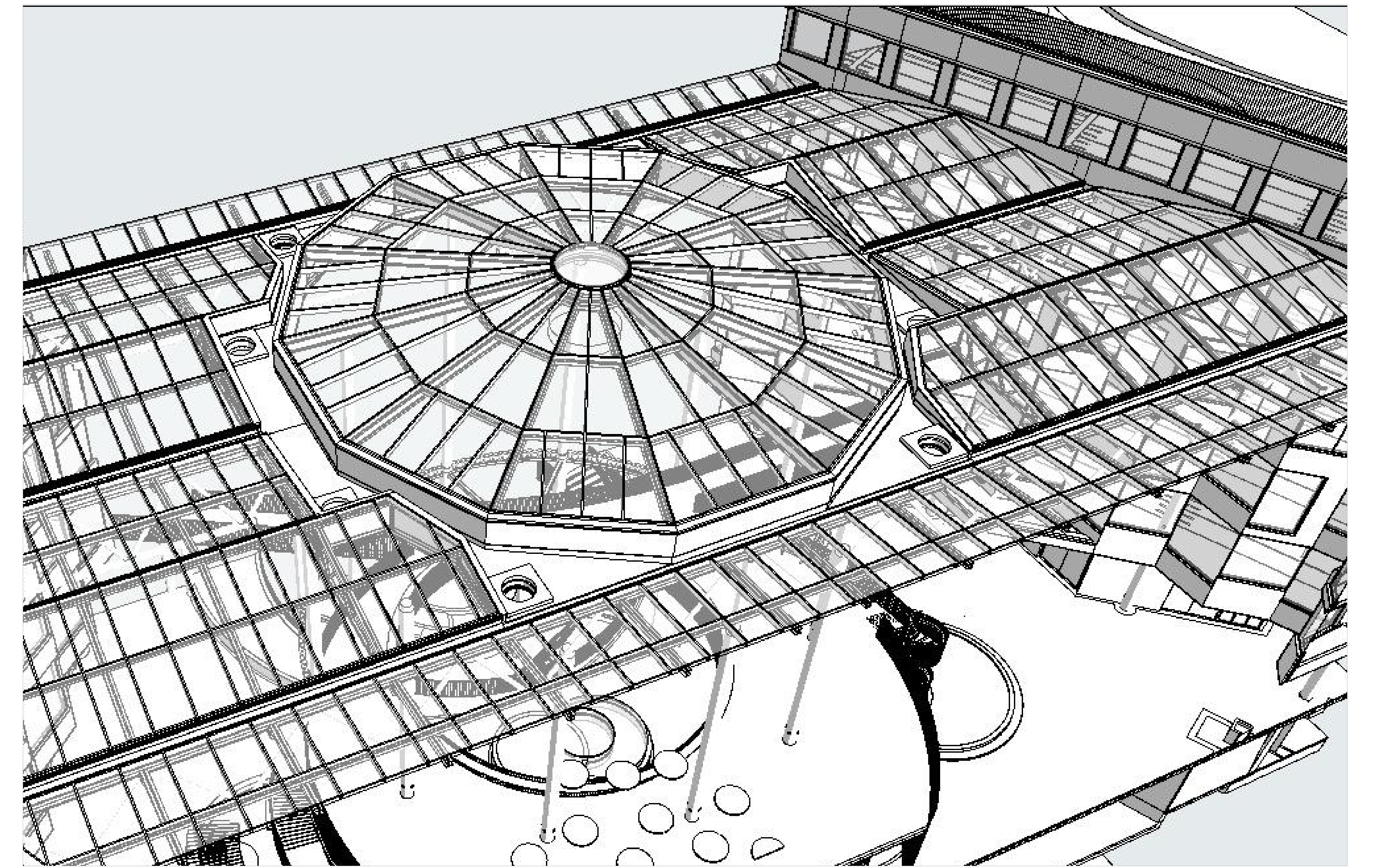
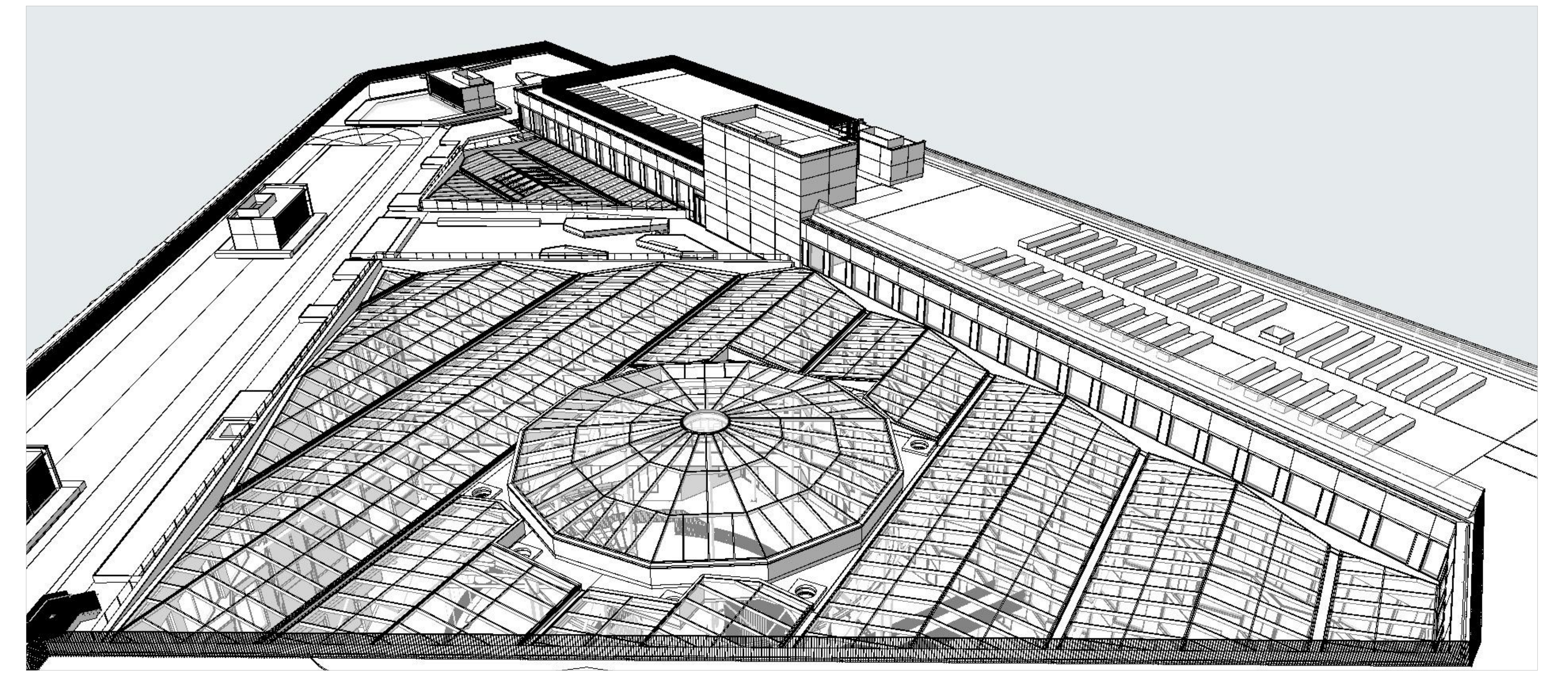
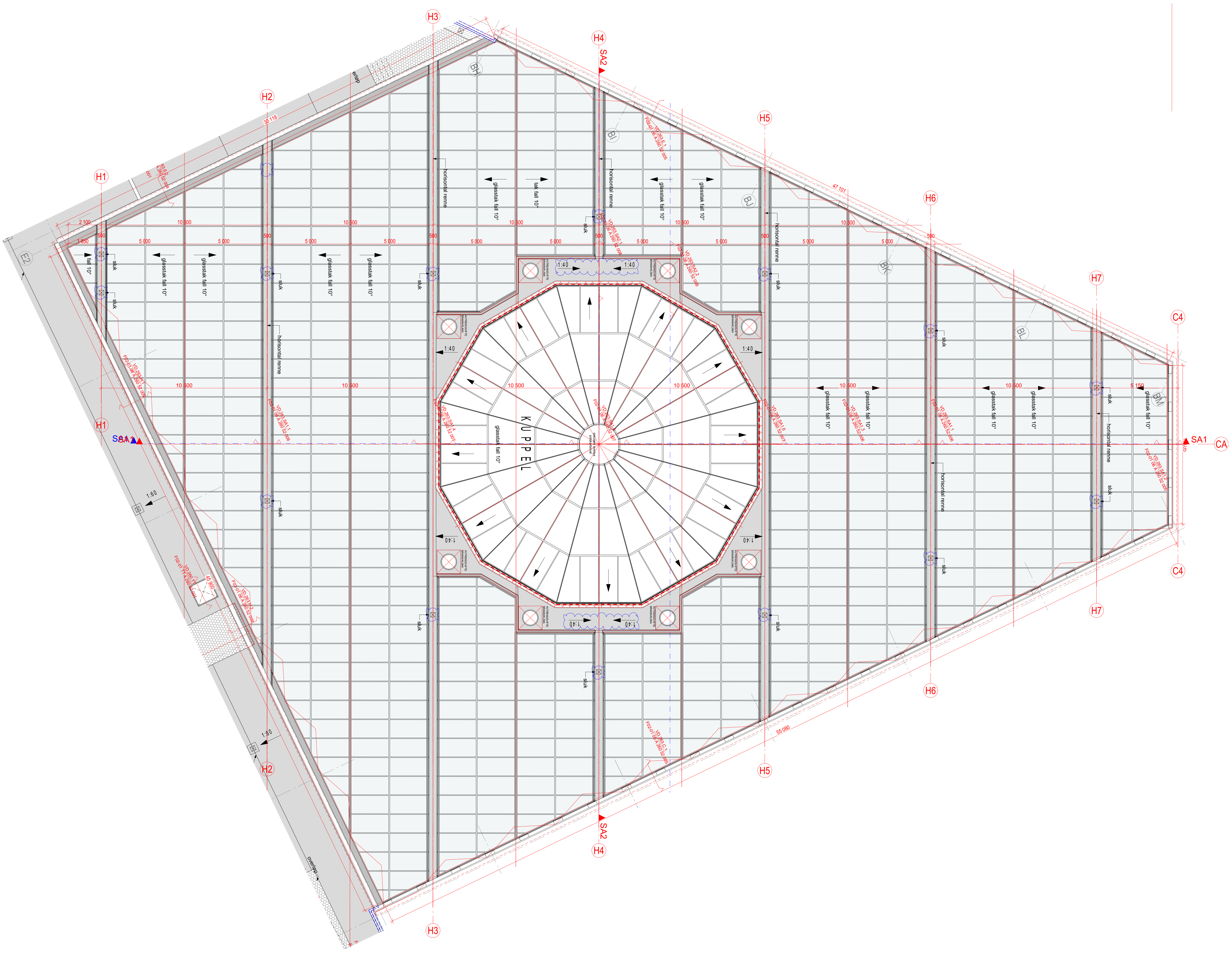
Prosjekt	2020083	Revisjonsnummer	NTM10	Revisjonsdato	NN2000
Formål	Ark	Tegningstype	Ark	Dato	20.10.2022
Ark	1200	Ark	BH	Revisjon	A 171A-2024
Tegning nr	F03-01 TT A 260 60 001	Tegningstittel	Skjema takplan for membran takteking		



SA1 TVERRSNITT



SA2 LANGSSNITT I RENNE



MERKNADER

Glasstak og renner

Generelt
 Glassproffilingen til leverandør.
 Renne og bunnlag: se egne stål lagringer fra RIBPofab.
 Skjematyningen viser horisontal projeksjon og vertikalt snitt fra BIM-modellen i redaksjon.
 Leverandøren skal etablere egne produksjons tegninger på grunnlag av geometri BIM-modellen og annet fast tilføiret grunnlag i lagring så som fallhøyde og løseløysninger, samt egen teknisk dokumentasjon.
 Illustrasjoner fra BIM-modellen til orientering.

Måling
 Alle byggeplaner foring for glassstak, anvender til vegger og konstruksjoner må kontrolleres av leverandør for produksjon profiler og glass. Til byggeplaner på glassstakets utforming må overføres til skilfulle.
 Eventuelle feil i byggeplaner av glassstakets utforming skal avleses med NCC. Store måls glassstak skal verifiseres av hererin til daglys. Tilkobling langs kanten med overgangsbånd og faktorer innblikket til innvendige byggeteiler.

Tekniske krav
 Se premissdokument fra:
 - Statistiske datagiver
 - Lydteknisk datagiver
 - Bygningfysiske datagivere inkludert energiberegning, isolasjon og fuktisolering samt datagiverberegning
 - Glass og Fasadeveien
 - TEK funksjonskrav og presenskrav
 - AM, som til riktig vedlikeholdspersonell
 - Siste Byggeforsk byggeteiler (relevante)
 - Norsk Standard (relevante)
 - TPF Informasjon, så vel fra takdragen (relevante)

Byggeteilerne er basert på premissdokumentene men inneholder generisk grafikk på faks profiltversnitt og glassoppbygging mv.

Glass, sikkerhet mot nedfall:
 presenskrav til TEK 17 og NS 3510 Sikkerhetsstatistikk i byggeteiler.
 Følgende planer for vedlikeholdspersonell til AM.
 Renner og innledning, innledninger og andre perforeringer av membran må utføres over minimumshøyde for opprett til Siste Byggeforsk. Installasjon som som montering oppveieringen tekniske og utvangeringen til Siste Byggeforsk.

Løser i glassstak:
 Løser og montering skal være basert på premisset.
 Se premissdokument RIBPofab for drift og vedlikehold.
 Se premissdokument RV for drift teknisk ventilasjon.

21.04.2023	KJ	Endring av utvangeringen opprettet til RV	A
02.01.2023	KJ	Byggeteiler datagiver	A
02.01.2023	KJ	Endring av utvangeringen opprettet til RV	A
09.11.2022	KJ	Endring av utvangeringen opprettet til RV	A
09.11.2022	KJ	Endring av utvangeringen opprettet til RV	A
09.11.2022	KJ	Endring av utvangeringen opprettet til RV	A

NCC Norge AS
 NCC Norge AS
 7000 Trondheim
 Tlf: 73 98 01 00
 kmap@ncc.no

Pv AS
 SIVILARKITEKTER MNA
 FJORDGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
 Tlf: 73 98 01 00
 kmap@pv2.no | www.pv2.no

Teknostaen BT5
 KLP Teknostaen AS
 KLP Eiendom Trondheim AS

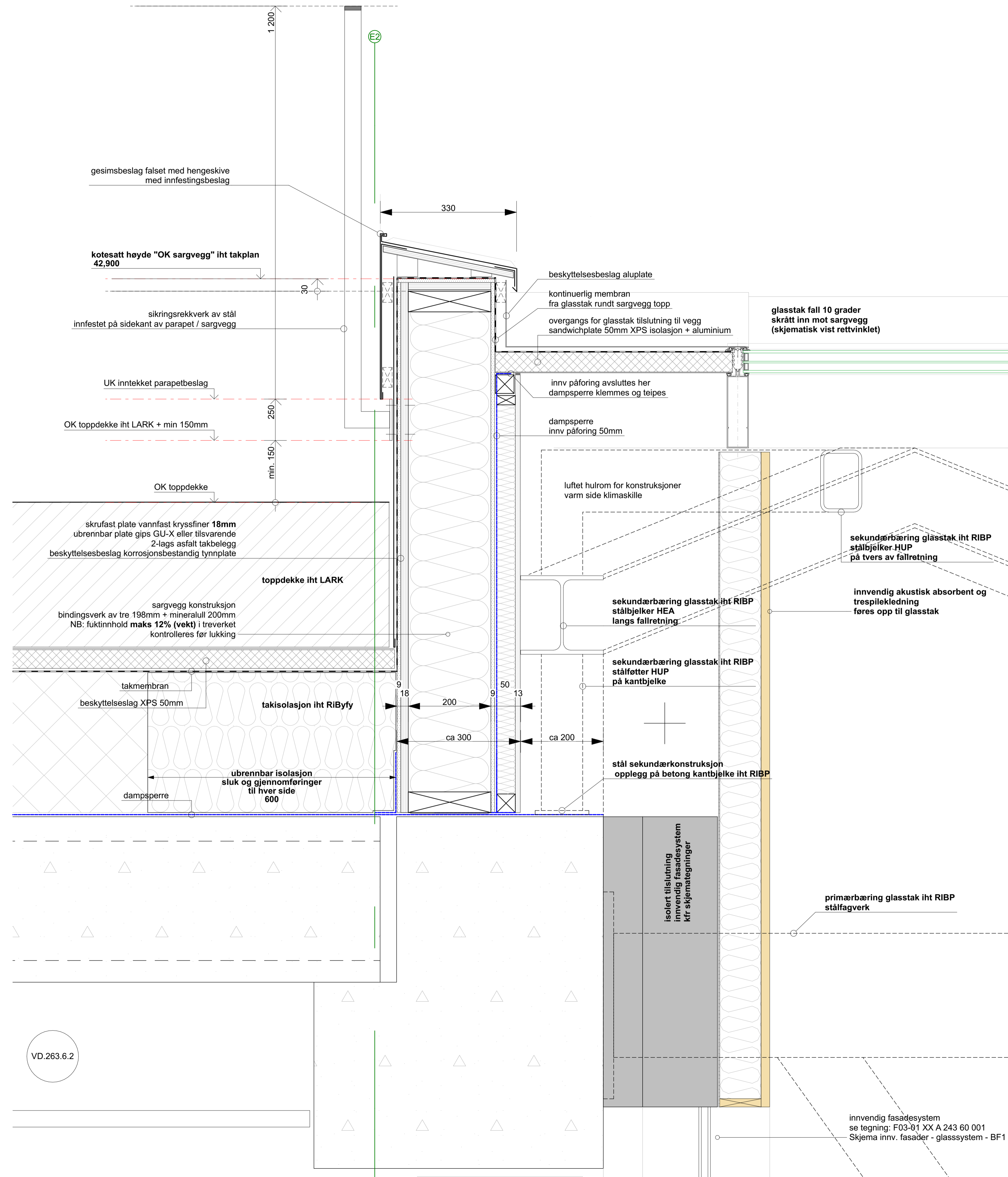
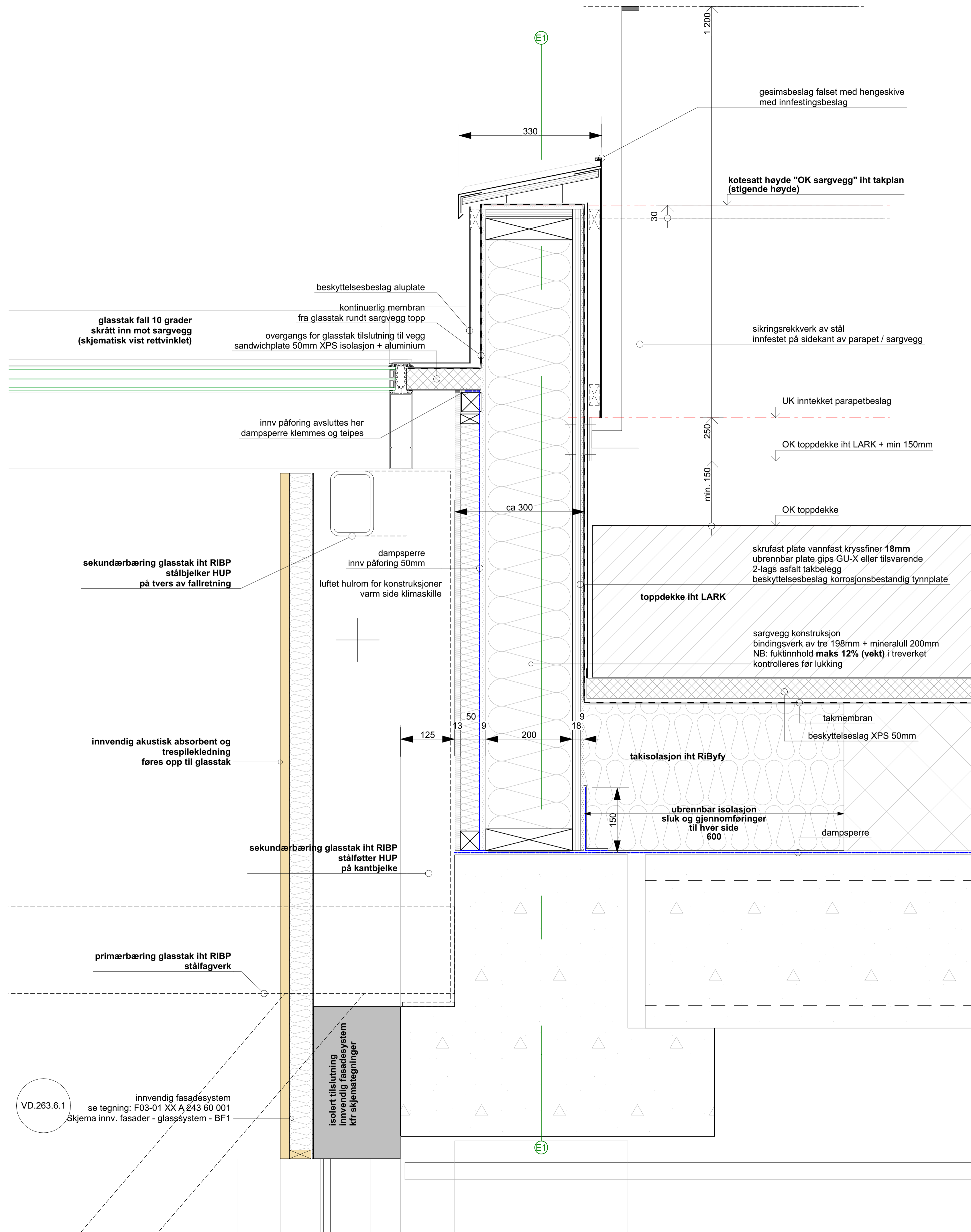
DETALJPROSJEKT
 Arbeidstegning

© Tegning kan ikke brukes uten tillatelse eller annen samtykke fra forfatter eller opphavsrettshaver.
 For mer informasjon kontakt NCC Norge AS eller Pv AS.

DELPLAN 1.7

20200803	NTM10	NTD2000	
Forskrift	Målestokk	Tegner	Revisjon
AKL	1:100	OK	KJ
			18.10.2022
			A

F03-01 06 A 263 60 002 Sjema glassstak store aihum



MERKNADER

Byggedetaljer ytter skall

Generelt
Byggedetaljene har referanse fra ARK etasjeplaner, snitt og skjematetegninger. Detaljmarkeringene viser ID-referanse til den enkelte detalj og tegningsnummer. ID-markeringene viser til prosjekts etasjeplan og etablerte hovedsnitt. Alt så langt dette kan spesifiseres. For generelle detaljer og andre lokaliseringer er ledd i ID-referansen markert "X".

Elementfasader (Unitized Curtain Walls)
Generelt: se detaljtegninger og teknisk dokumentasjon fra leverandør KG Constructions. Omfang elementfasader (UCW) og plassbygde fasader er vist som tekstinfo og grafiske skillelinjer på fasadetegning. Detaljer og profilversnitt fra UCW-fasadeleverandør inngår for å vise nødvendige overgangsdetaljer mellom elementfasader og andre, plassbygde bygningsdeler. For tekniske detaljer i grensesnitt som inneholder andre fag, fasadesystem og prefab konstruksjon mv gjelder leverandørens tegninger foran. Konstruktiv innfesting av UCW-elementfasader til byggets bæresystem se også montasjedetaljer RIB/Prefab.

Måling
Bygningens faste etasjehøyde er angitt som referanselinje med kotehøyde. Kotehøyder for bygningsdeler og terreng mv er målsatt til ytre flate og ferdig gulv. Se også snitt og BIM-modell. Målingstegning ved fasade kfr LARK landskapsplan. Se også premisser for målereglene i øvrige tegninger der disse henviser til hverandre (aksennål, mål til faste konstruksjoner, stønnerverk, byggetoleranser og innredningsmål iht skjematetegninger).

Tekniske krav
Se premissdokument fra:
- Strukturskiss rådebygger
- Lydteknisk rådebygger
- Bygningsfysiske rådbygger inkludert energiberegning, isolasjon og fuktisikring samt dagslysregulering

Byggedetaljene er basert på premissdokumentene men inneholder generisk grafikk på f.eks profilversnitt og glassoppbygging mv.

Dører, porter, vinduer og fasadeglass
Se egne skjematetegninger og premissdokument.

Glasstak
Glassprofilsystem: se egne tegninger fra leverandør Renne og bæring: se egne stål tegninger fra RIB/Prefab.

20.02.2023	JKJ	JKJ	Arbeidstegning	A
Rev. dato	Tegn	Kont	Metode	Rev

Toleranser:
NCC Norge AS
Brosøveien 164
7060 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

Prosjekt:
Pir II AS
SIVILARKITEKTER M NAL
FJØRDOGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 40 80
firmapost@pir2.no | www.pir2.no

Byggenavn/prosjekt:
Teknostallen BT5

KLP Teknobyen AS
og nr 990 588 746
en del av
KLP Eiendom Trondheim AS

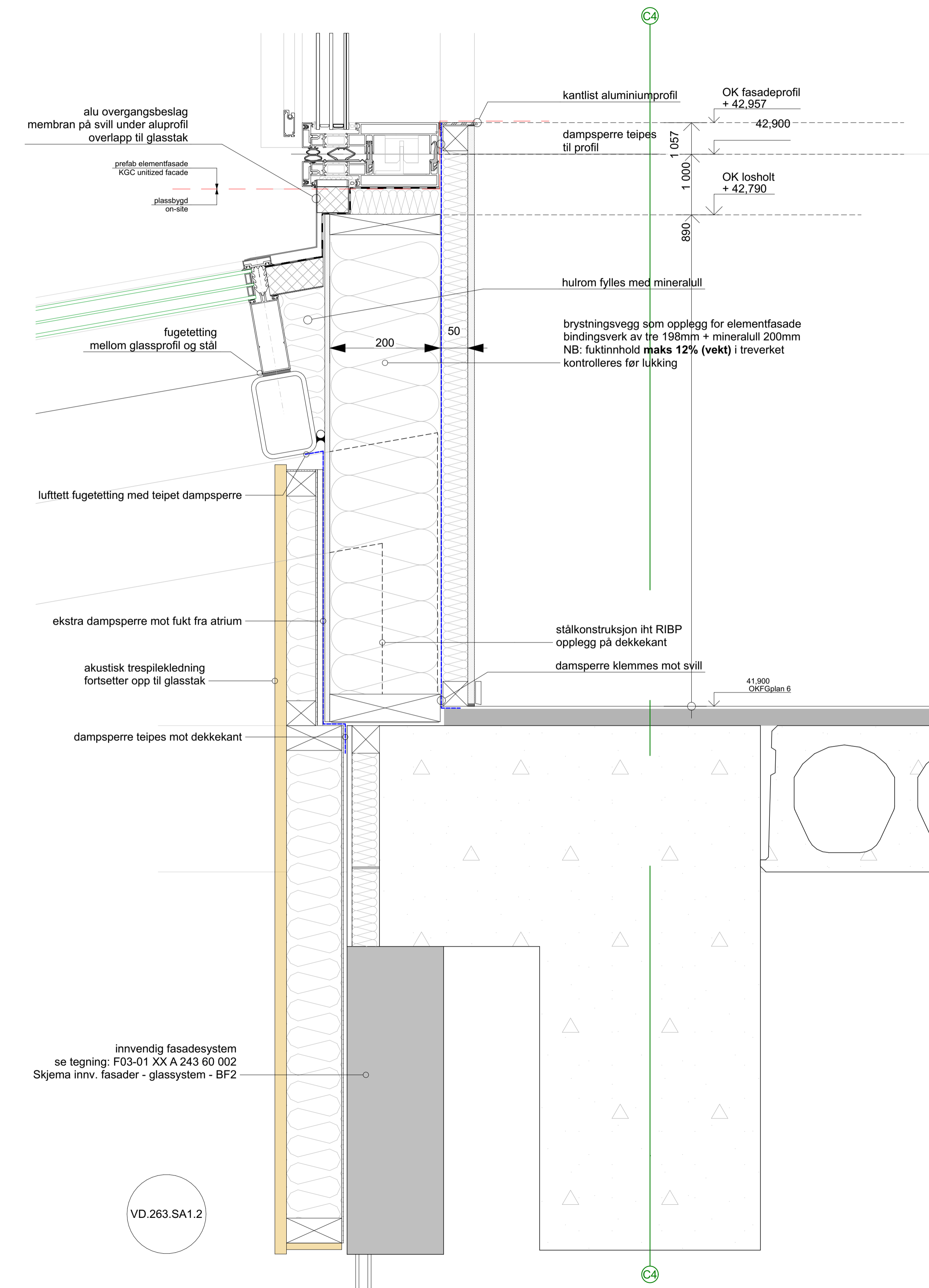
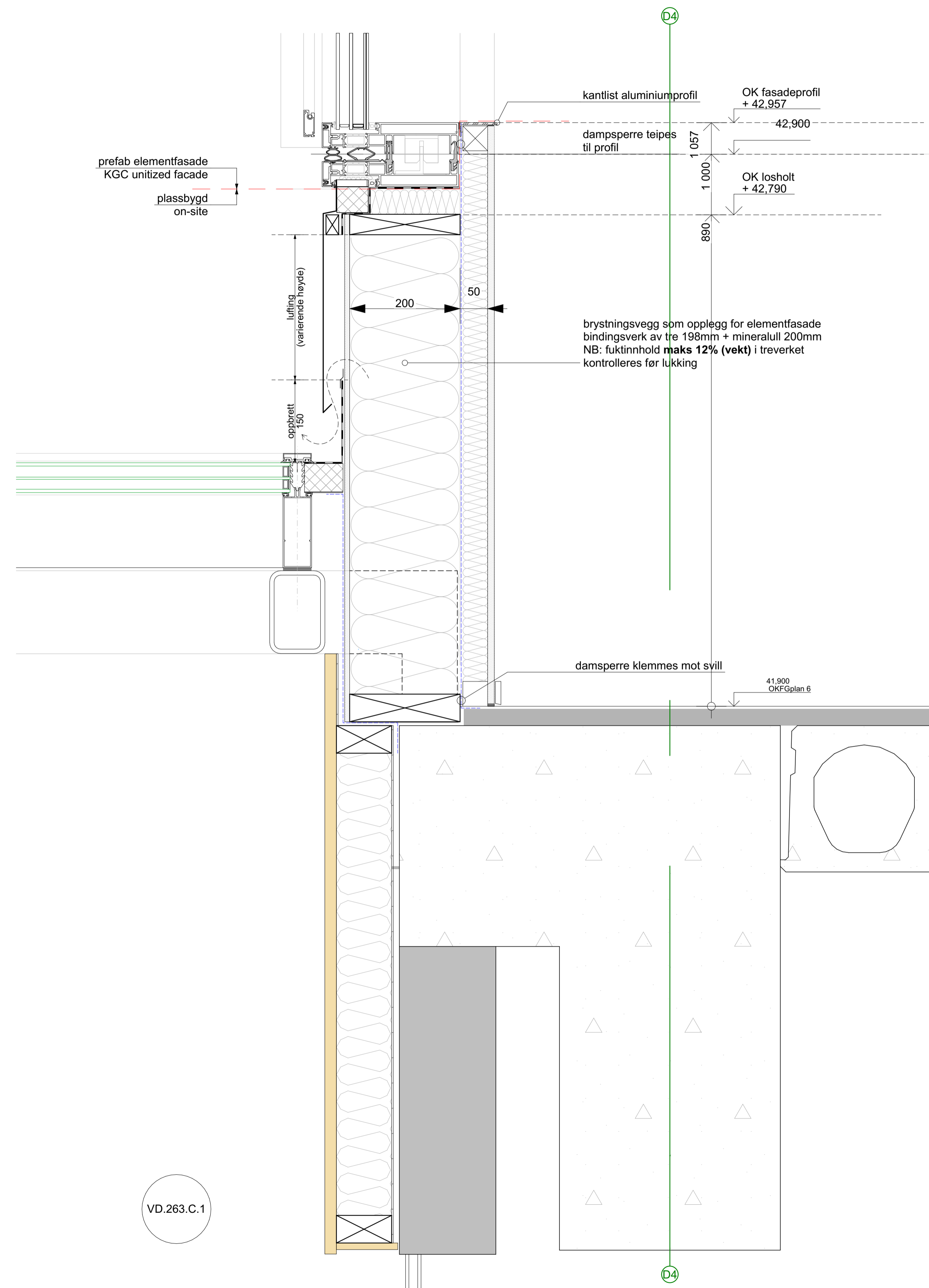
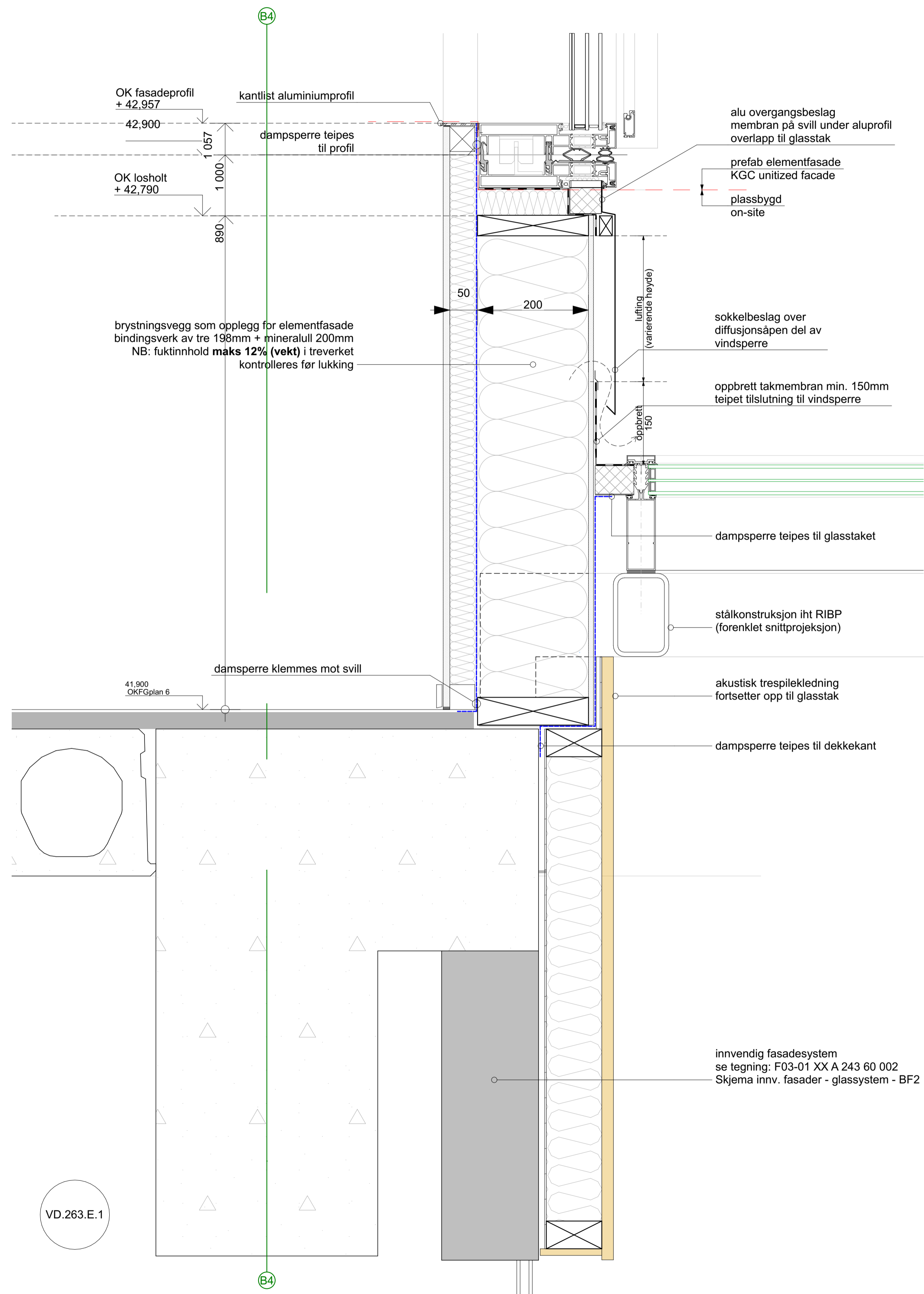
Tegningstittel:
DETALJPROSJEKT

Tegningstype:
Arbeidstegning

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng, enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "MØBE/STEGNING" kan benyttes som produkttegninger.

Laborsanglegg:

Prosjekt:	2022083	Konstruksjon:	NTM10	Prosjekt:	NN2000
Formål:	ATL	Målestokk:	1:5	Tegnet:	JKJ
Arkitekt:	JKJ	Revisjon:	10.11.2022	Dato:	20.02.2023
Tegning:	F02-01 06 A 260 52 004	Tegning:	Detaljer glasstak og sargvegg	aksse E1 og E2	



MERKNADER

Byggedetaljer ytter skall

Generelt
Byggedetaljene har referanse fra ARK etasjeplaner, snitt og skjemategninger. Detaljmarkeringene viser ID-referanse til den enkelte detalj og tegningsnummer. ID-markeringene viser til prosjektets etasjeplan og etablerte hovedsnitt. A-H så langt dette kan spesifiseres. For generelle detaljer og andre lokaliseringer er ledt i ID-referansen merket "X".

Elementfasader (Unitized Curtain Walls)
Generelt: se detaljtegninger og teknisk dokumentasjon fra leverandør KG Constructions. Omfang elementfasader (UCW) og plassbygde fasader er vist som tekstinfo og grafiske skillelinjer på fasadetegning. Detaljer og profilversnitt fra UCW fasadeleverandør inngår for å vise nødvendige overgangsdetaljer mellom elementfasader og andre, plassbygde bygningsdeler. For tekniske detaljer i grensesnitt som inneholder andre fag, fasaesystem og prefab konstruksjon mv gjelder leverandørens tegninger foran. Konstruktiv innledning av UCW-elementfasader til byggets bæresystem se også montasjedetaljer RIBPrefab.

Målssetting
Bygningens faste etasjensnivå ferdig gulv er angitt som referanselinjer med kolohøyde. Kotehøyder for bygningsdeler og terreng mv er målsatt til ytre flate og ferdig gulv. Se også snitt og BIM-modell. Målssetting terreng ved fasade kfr LARK landskapsplan. Se også premisser for målereglene i øvrige tegninger der disse henviser til hverandre (aksennål, mål til faste konstruksjoner, stønnerverk, byggteknikker og innredningsmål iht skjemategninger).

Tekniske krav
Se premissdokument fra:
- Strukturskiss rådebygger
- Lydteknisk rådebygger
- Bygningssykliske rådbygger inkludert energiberegning, isolasjon og fuktisikring samt dagslysregulering

Byggedetaljene er basert på premissdokumentene men inneholder generisk grafikk på f.eks profilversnitt og glassoppbygging mv.

Dører, porter, vinduer og fasadeglass
Se egne skjemategninger og premissdokument.

Glasstak
Glassprofilsystem: se egne tegninger fra leverandør Renne og bærer: se egne stål tegninger fra RIBPrefab.

21.04.2023	JJK	BH	Tegningsgrafikk justering	B
20.02.2023	JJK	JK	Arbeidstegning	A
Rev. dato	Tegn	Kont	Metode	Rev

Tollensleverantør: **NCC Norge AS**
Brosøysveien 164
7060 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

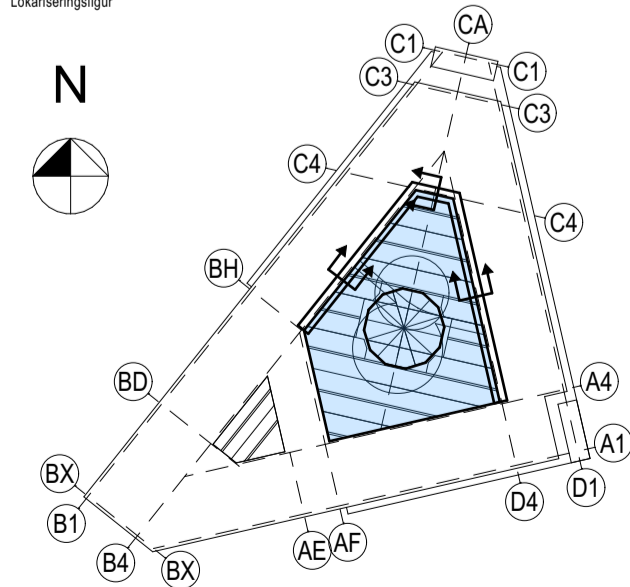
Prosjektleder: **Piv II AS**
SIVILARKITEKTER MNAL
FJORDGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 40 80
firmapost@piv2.no | www.piv2.no

Byggherre i prosjekt: **Teknostallen BT5**
KLP Teknobyen AS
og nr 990 588 746
en del av
KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningstittel: **DETALJPROSJEKT**

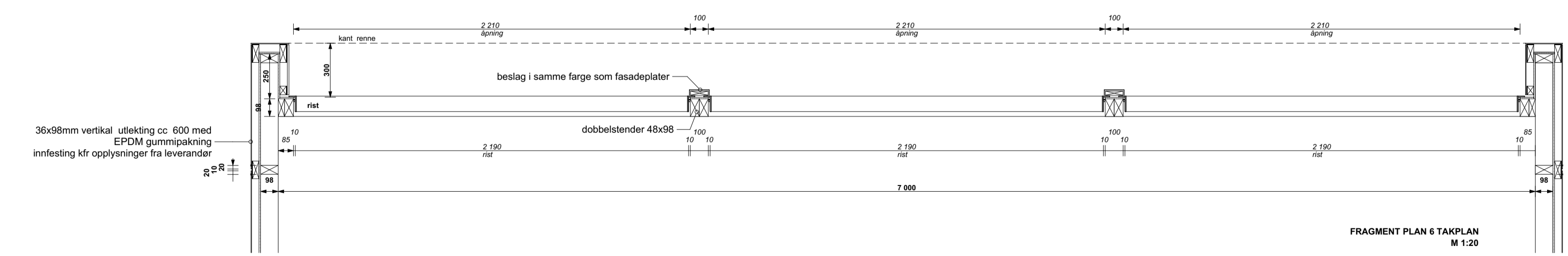
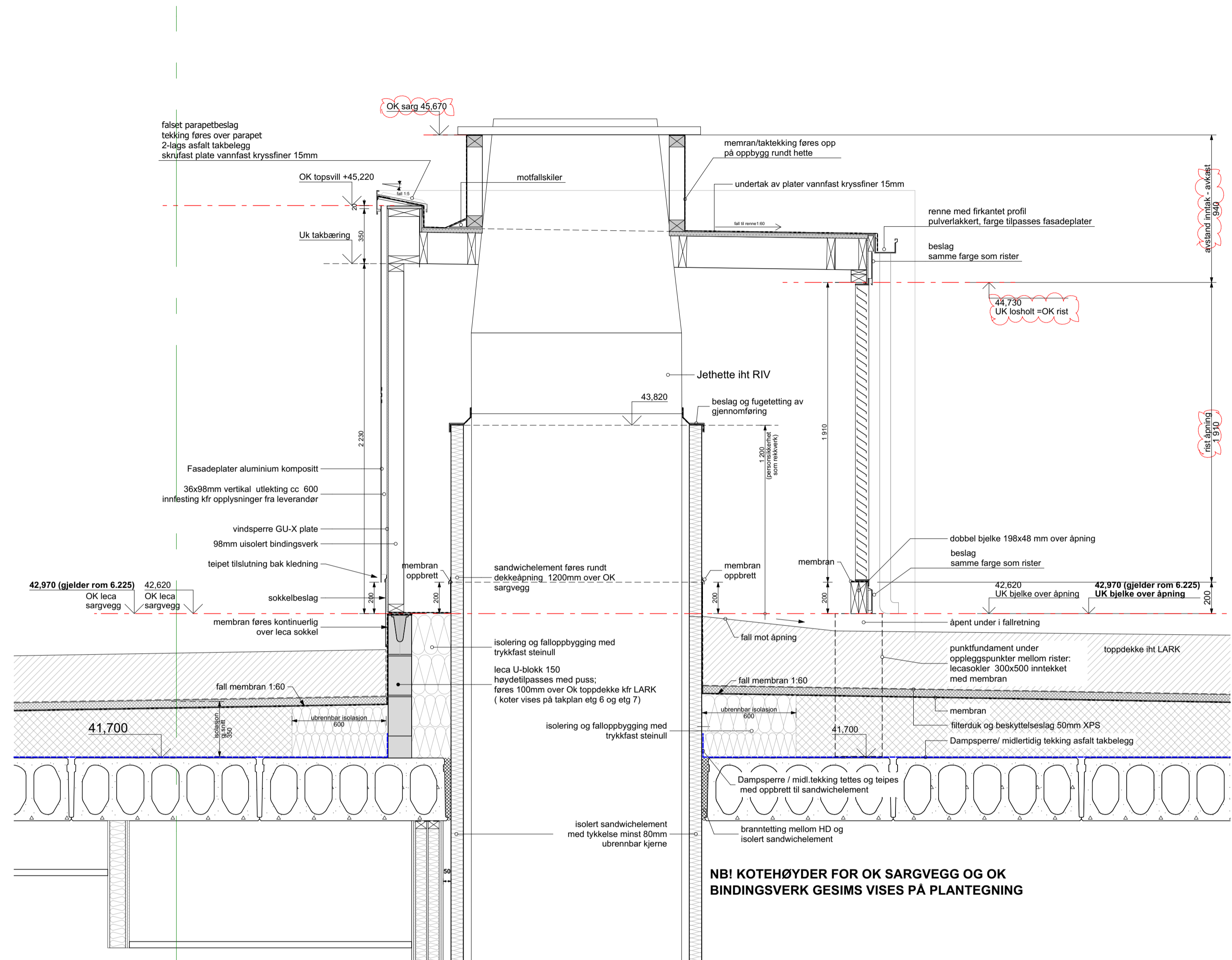
Tegningstype: **Arbeidstegning**

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng, enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "MØBE/STEGNING" kan benyttes som produksionstegninger.

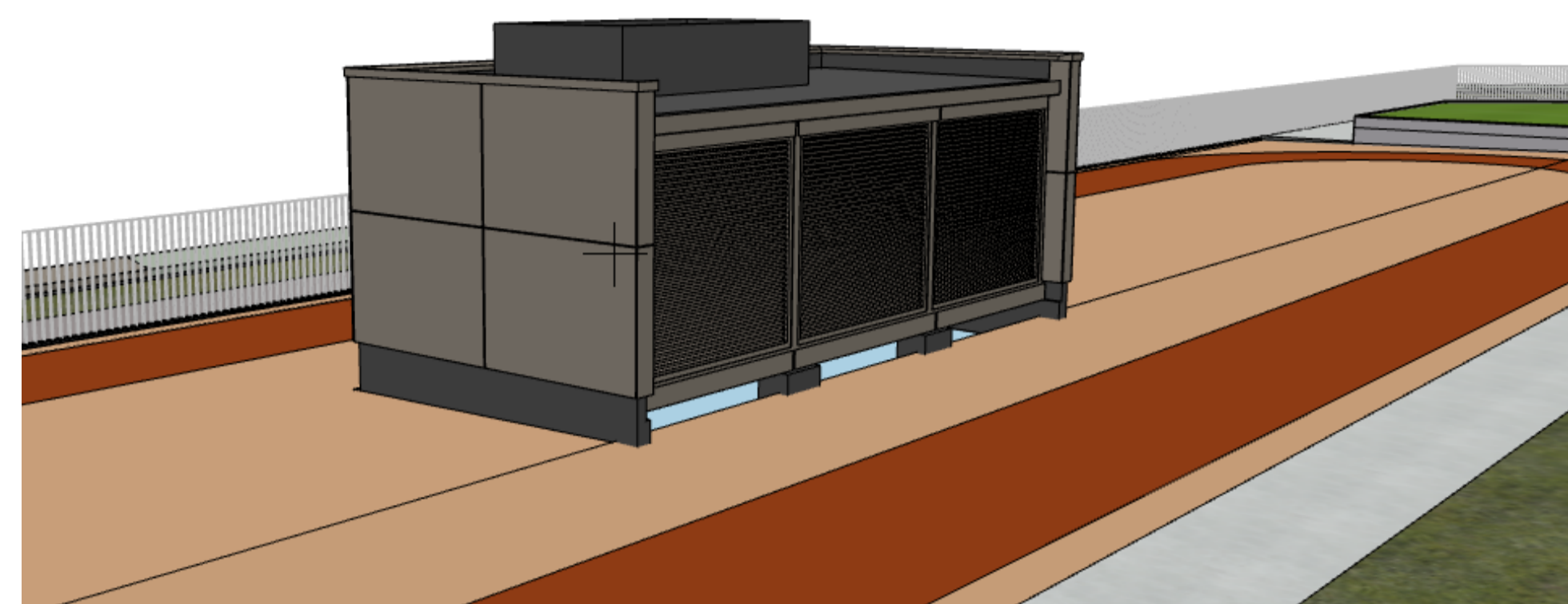


Prosjekt:	20220083	Konstruksjons:	NTM10	Prosjekt:	NN2000
Fornavn:	ATL	Målestokk:	1:5	Tegnet:	JJK
Arbeid:	15	Tegnet:	JJK	Kont:	BH
Dato:	17.02.2023	Revisjon:	B	Dato:	21.04.2023
Tegning:	F02-01 06 A 260 52 005	Detaljer glassstak store atrium tilslutning yttervegg			

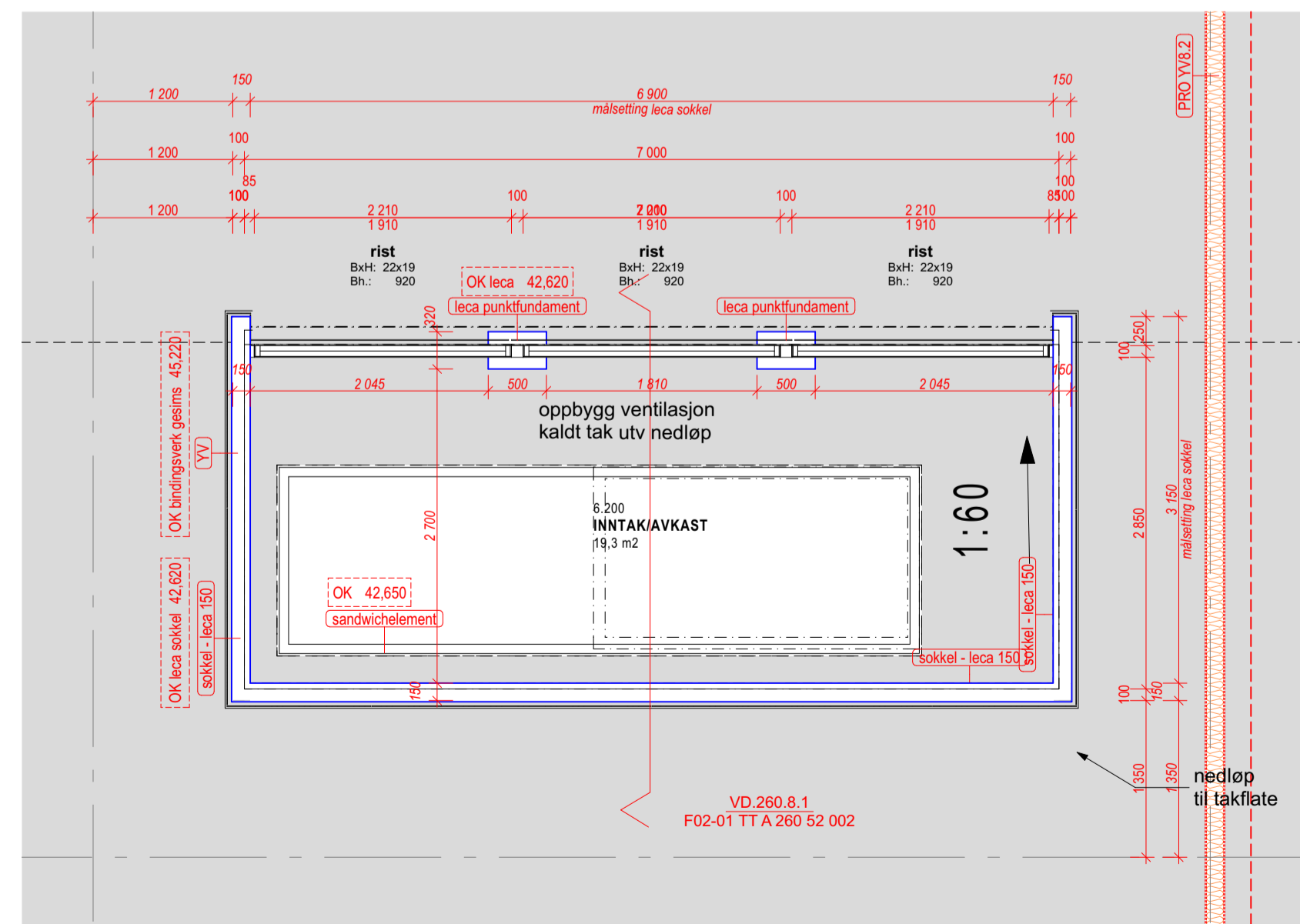
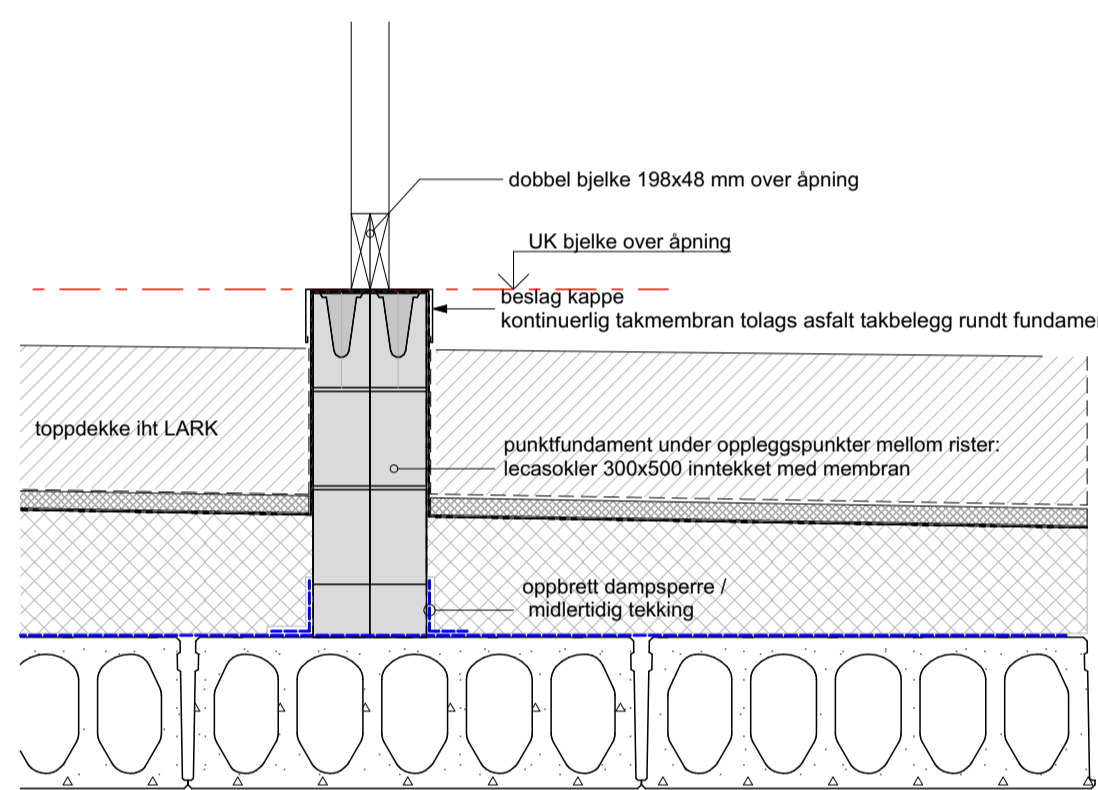
VD.260.8.1
TAKOPPBYGG PÅ TAK OVER ETG 6



FRAGMENT PLAN 6 TAKPLAN
M 1:20

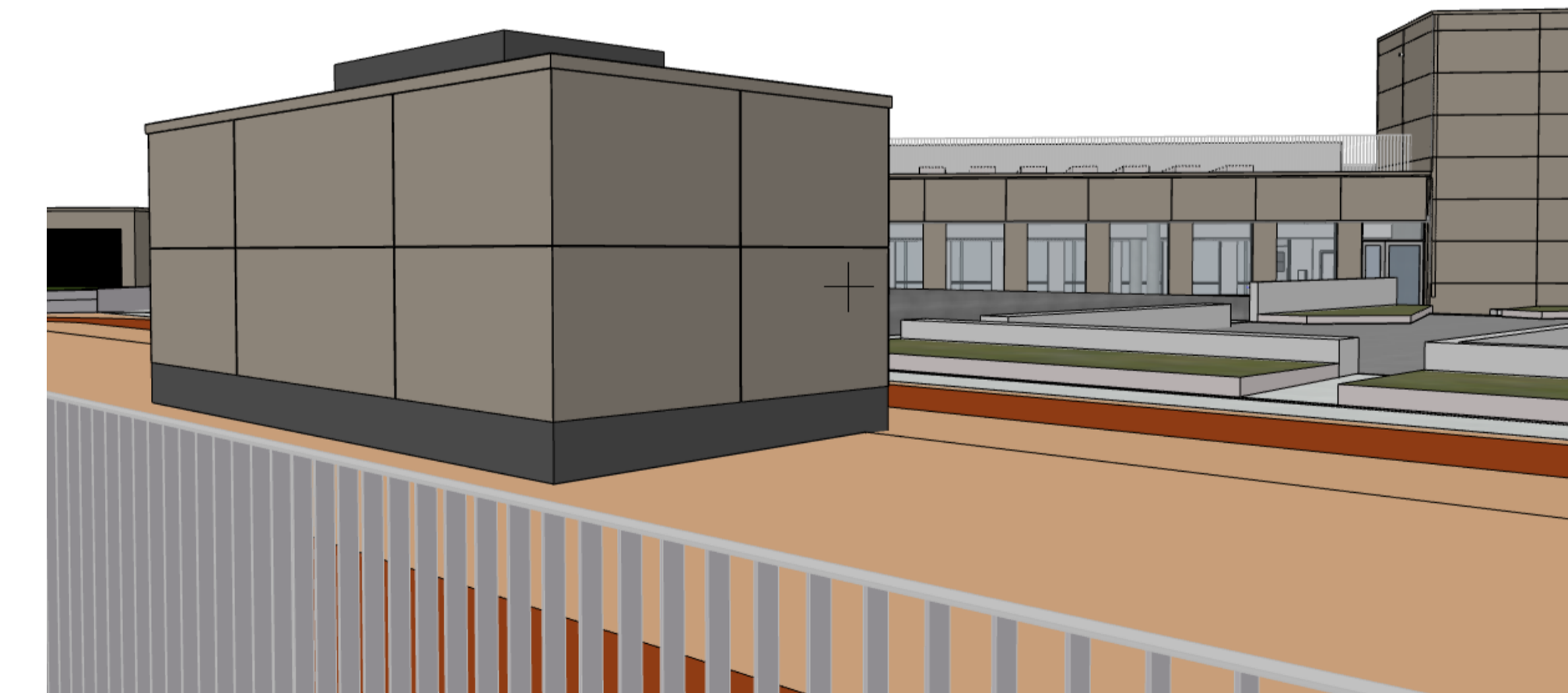
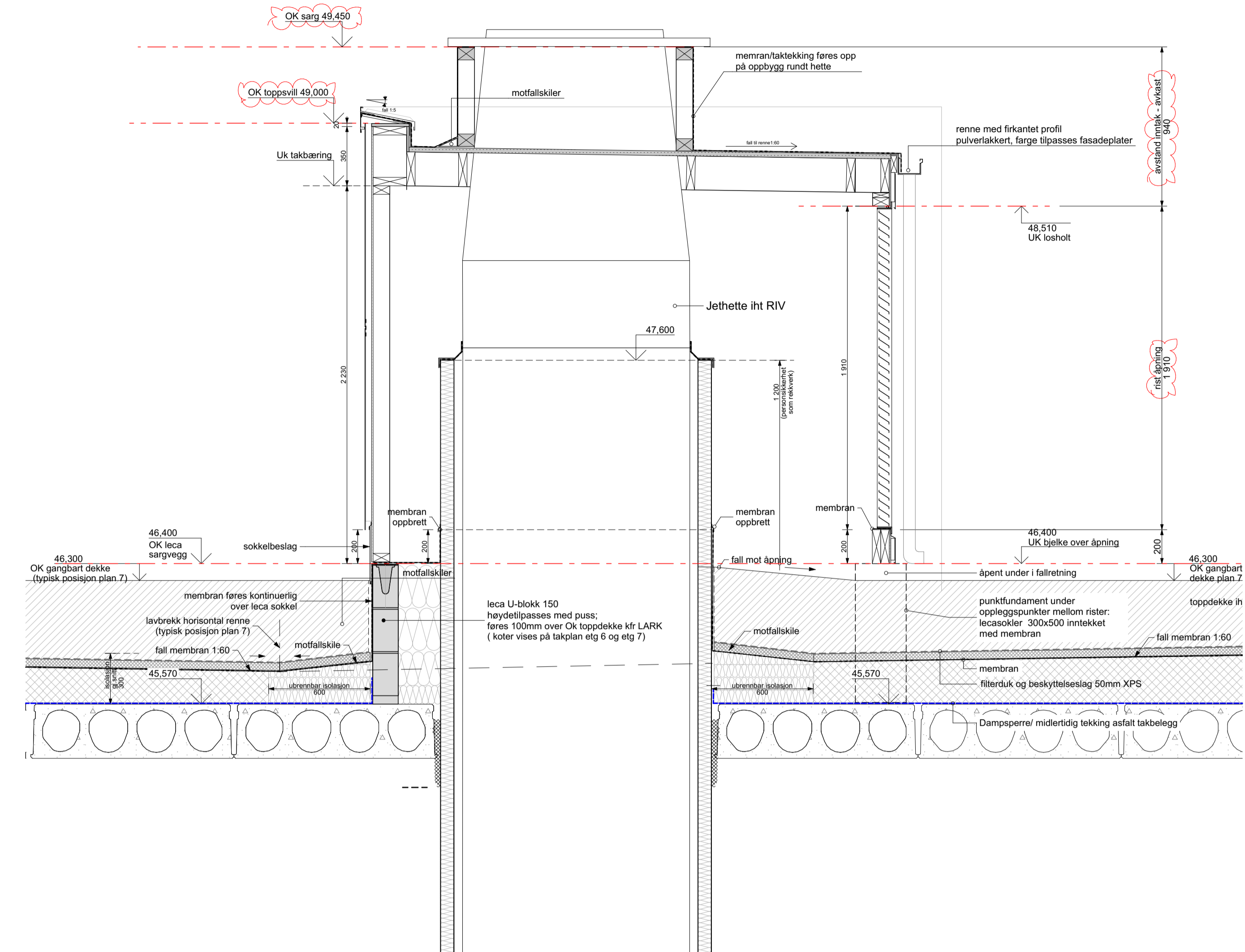


DETALJSNITT
Oppbygging av punktfundamenter



FRAGMENT PLAN 6 TAKPLAN
M 1:50

VD.260.8.2
TAKOPPBYGG PÅ TAK OVER ETG 7



MERKNADER

Byggedetaljer yterskall

Generelt

Byggedetaljene har referanse fra ARK etasjeplaner, snitt og skjemategninger. Detaljmarkeringene viser ID-referanse til den enkelte detalj og tegningsnummer. ID-markeringene viser til prosjektets etasjeplan og etablerte hovedsnitt. A-H så langt dette kan spesifiseres. For generelle detaljer og andre lokaliseringer er ledt i ID-referansen markert "X".

Elementfasader (Unitized Curtain Walls)
Generelt: se detaljtegninger og teknisk dokumentasjon fra leverandør KG Constructions. Omfang elementfasader (UCW) og plassbygde fasader er vist som tekstlinje og grafiske skillelinjer på fasadetegning. Detaljer og profilversnitt fra UCW fasadeleverandør inngår for å vise nødvendige overgangsdetaljer mellom elementfasader og andre, plassbygde bygningsdeler. For tekniske detaljer i grensesnitt som inneholder andre fag, fasadesystem og prefab konstruksjon mv gjelder leverandørens tegninger foran. Konstruktiv innfesting av UCW-elementfasader til byggets bæresystem: se også montasjedetaljer RiSPrefab.

Målsetting

Bygningens faste etasjens ferdig gulv er angitt som referanselinjer med kotehøyde. Kotehøyder for bygningsdeler og terreng mv er målsatt til ytre flate og ferdig gulv. Se også snitt og BIM-modell. Målsetting terreng ved fasade kfr LARK landskapsplan. Se også premisser for måleregler i øvrige tegninger der disse henviser til hverandre (aksomål, mål til faste konstruksjoner, stenderverk, byggetoleranser og innredningsmål iht skjemategninger).

Tekniske krav

Se premissdokument fra:
- Brannteknisk rådgiver
- Lydteknisk rådgiver
- Bygningsskisserteknisk rådgiver inkludert energiberegning, isolasjon og fuktisikring samt dagslysberegning

Byggedetaljene er basert på premissdokumentene men inneholder generisk grafikk på f.eks profilversnitt og glassoppbygging mv.

Dører, porter, vinduer og fasadeglass

Se egne skjemategninger og premissdokument.
Glasstak
Glassprofilsystem: se egne tegninger fra leverandør Renne og bærer: se egne stål tegninger fra RiSPrefab.

09.08.2023	OA	JKJ	Retting kotehøyde (toppleil), Supplert ristmål	B
12.10.2022	OA	JKJ	Arbeidstegning	A
Rev dato	Tegn	Kont	Metode	Rev

Tollernsveier: **NCC Norge AS**
Brosøveien 164
7060 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

Prosjektleder: **Pir 2 AS**
SIVILARKITEKTER MNAL
FJORDGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 40 80
firmapost@pir2.no | www.pir2.no

Byggherrens prosjekt: **Teknostallen BT5**

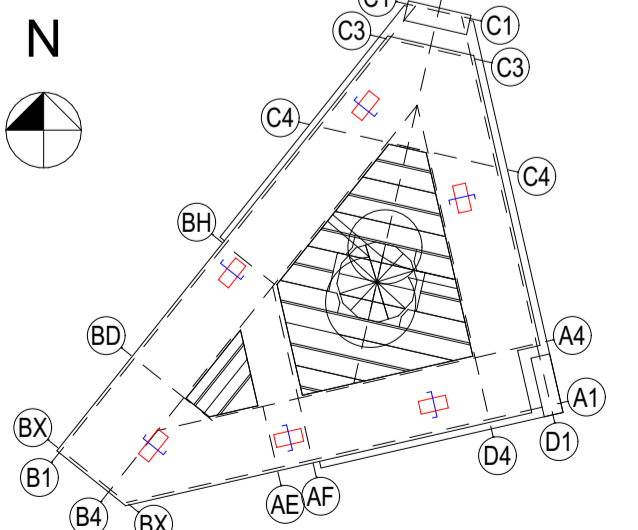
klp KLP Teknobyen AS
orgnr 990 588 748
enr 01 01 01
KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningstittel: **DETALJPROSJEKT**

Tegningstype: **Arbeidstegning**

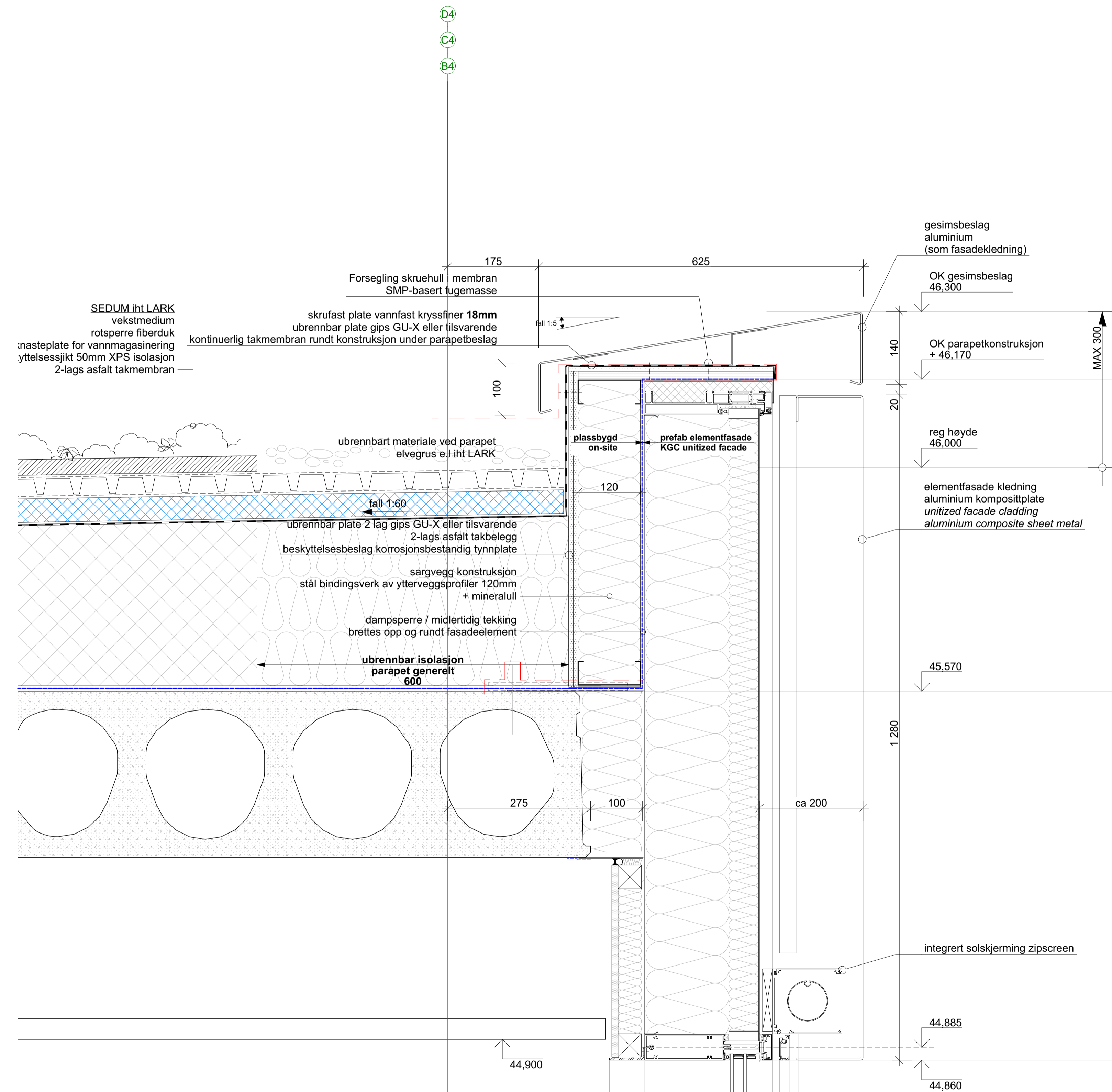
© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng, enn forutsatt den skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBEIDSTEGNING" kan benyttes som produksjonstegninger.

Løsningsalternativer

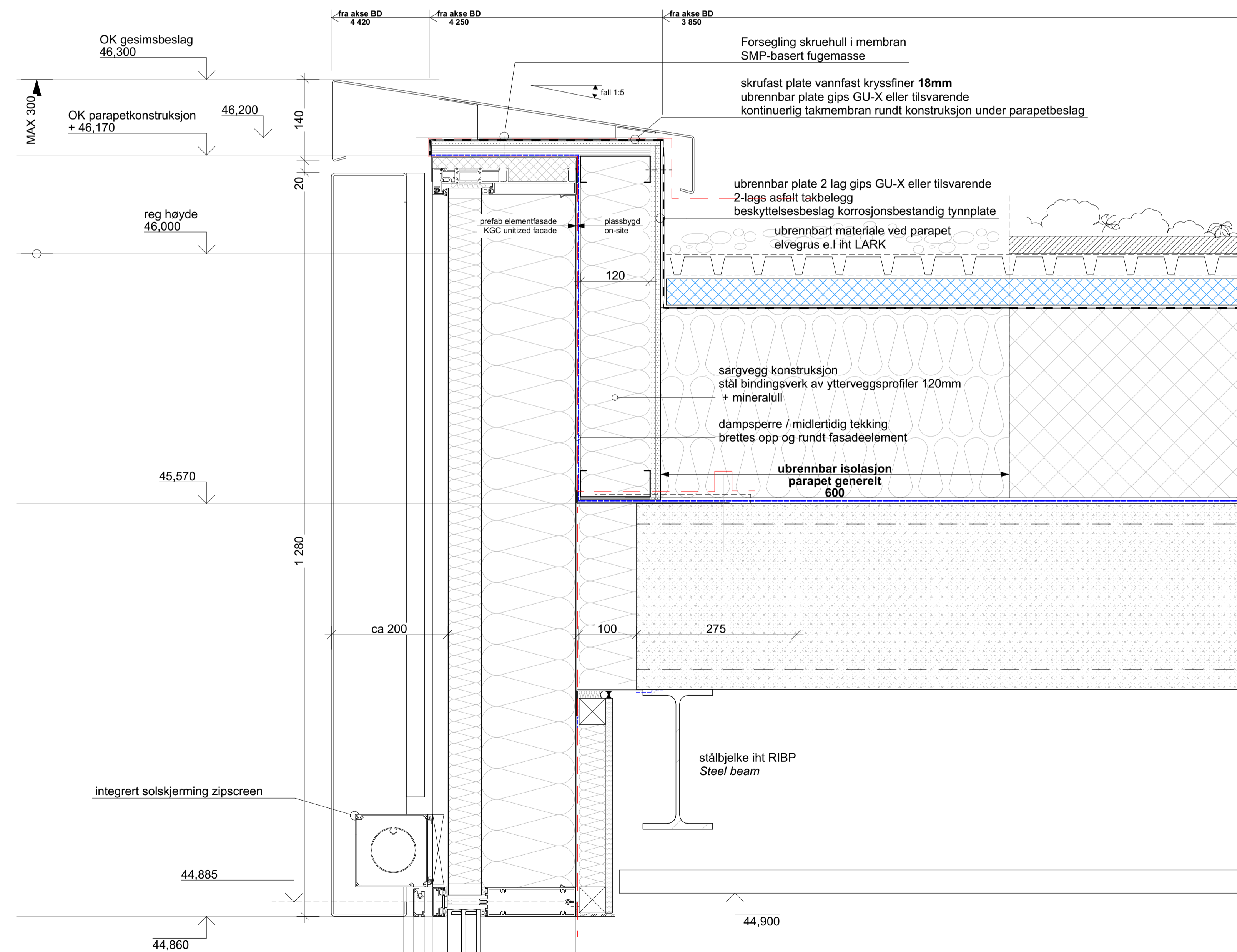


Prosjekt:	Konstruksjon:	Prosjekt:
2020083	NTM10	NNZ000
Funksj:	Målestokk:	Tegnet:
ATL	1:20, 1:50	OA
Rev dato:	Kont:	Metode:
Rev dato:	Tegn:	Metode:
Rev dato:	Tegn:	Metode:

F02-01 TT A 260 52 002 Detaljer takoppbygg



VD.230.7.2



VD.230.7.3

20.02.2023	JKJ	BH	Arbeidstegeting	A
Rev. dato	Tegn	Kont	Metode	Rev

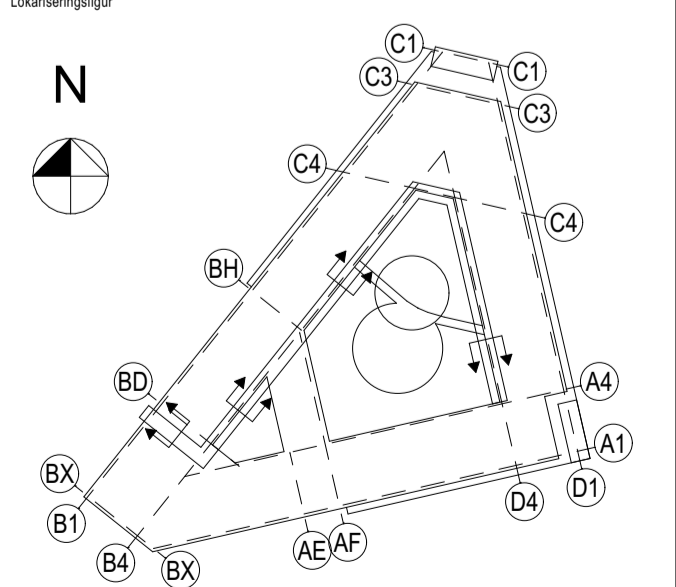
Tekstlinser:
 NCC Norge AS
 Brovassveien 164
 7060 Trondheim
 73 98 51 00
 firmapost@ncc.no

Prosjektleder:
 Piv II AS
 SIVILARKITEKTER MNAL
 FJØRDOGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
 73 98 40 80
 firmapost@piv2.no | www.piv2.no

Begrunnelse i prosjekt:
Teknostallen BT5
 KLP Teknobyen AS
 orgnr 990 588 746
 en-til-ett av
 KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningstittel:
DETALJPROSJEKT
 Tegningsstatus:
Arbeidstegeting

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng, enn forsettlig uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBIDSTEGETING" kan benyttes som produksionstegninger.

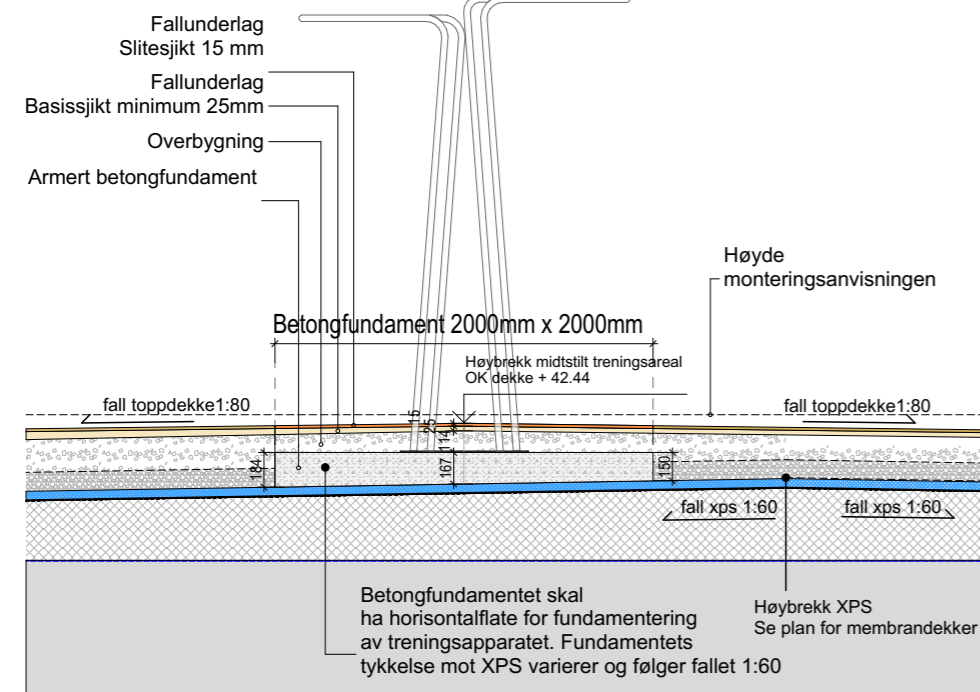


Prosjekt:	20220883	Konstruksjons:	NTM10	Prosjekt:	NN2000
Fasit:	ATL	Målestokk:	1:5	Tegnet:	JKJ
Arbeid:	15	Tegnet:	BH	Dato:	04.11.2022
Tegning:	F02-01 07 A 230 52 012	Revisjon:	A	Dato:	20.02.2023
Tegning: Detalj gesims plan 7 mot taklandskap					

FUNDAMENTERING AV TRENINGSSAPPARATER I TRENINGSSOMRÅDE 6.ETG

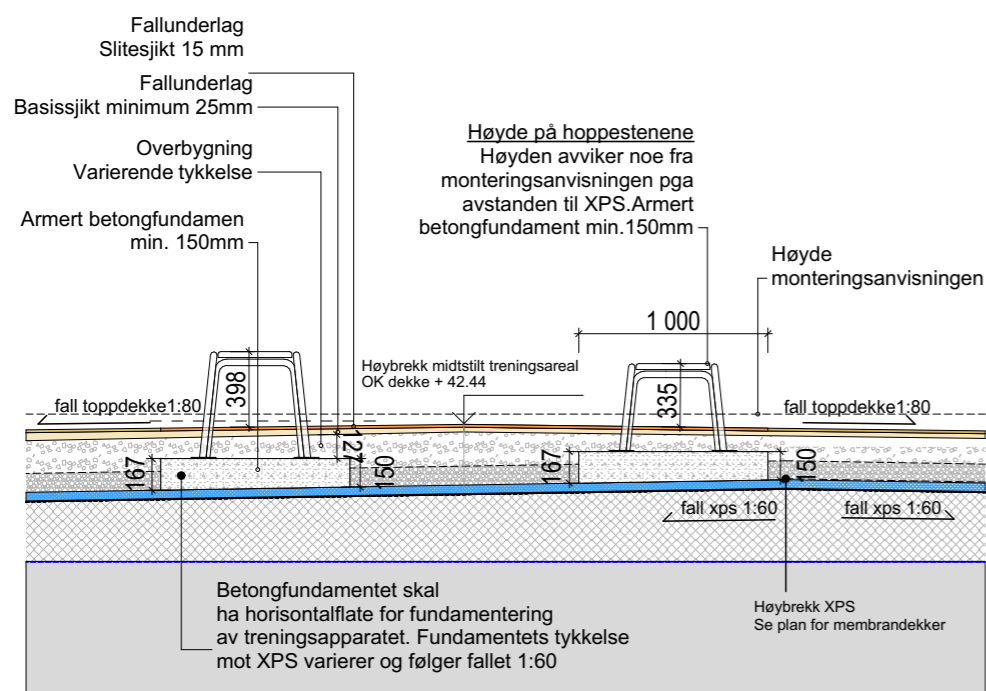
Produkter fra Glänta-design

A) Trådet - Glänta design



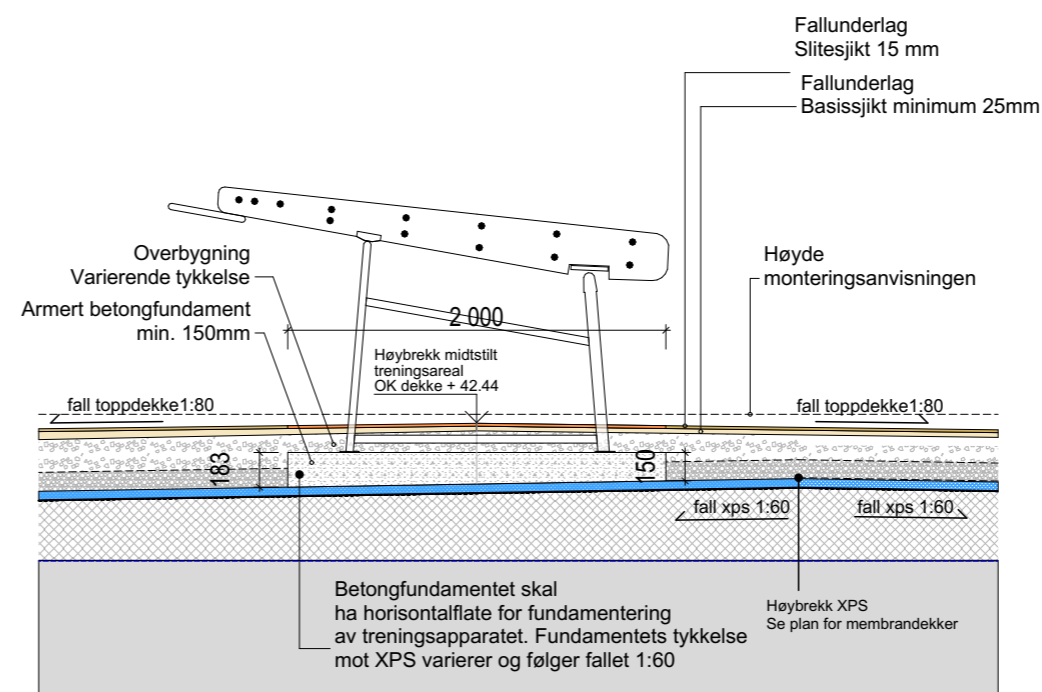
Betongfundament: 2000 x 2000
(varierende tykkelse, min 150mm)

C) Dungen - Hoppesstenar



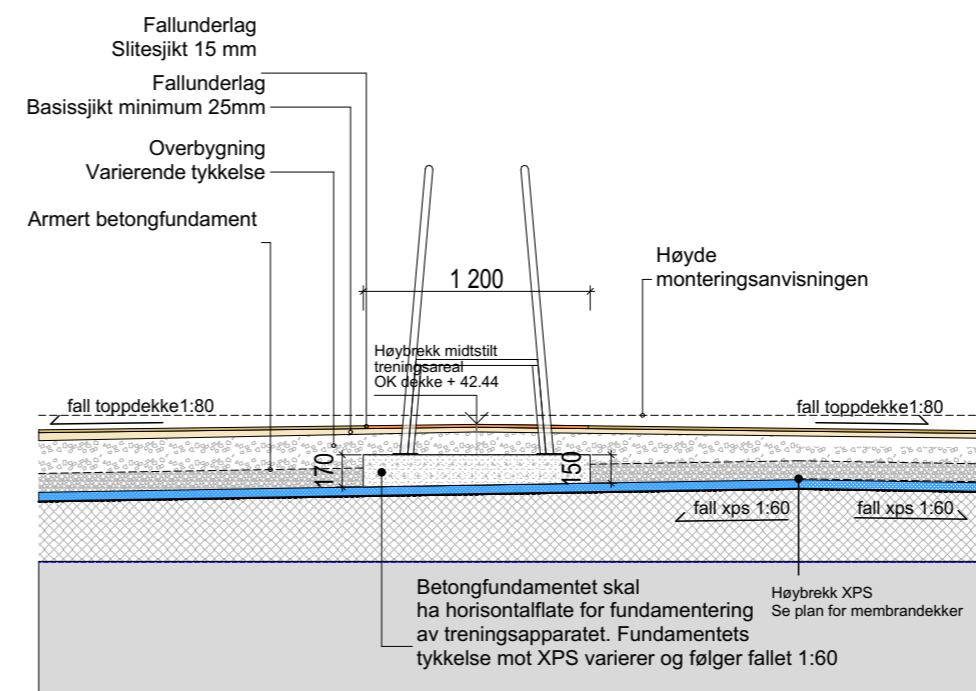
Betongfundament: 1000 x 1000
(varierende tykkelse, min 150mm)

B) Eksoxen - høy og lav

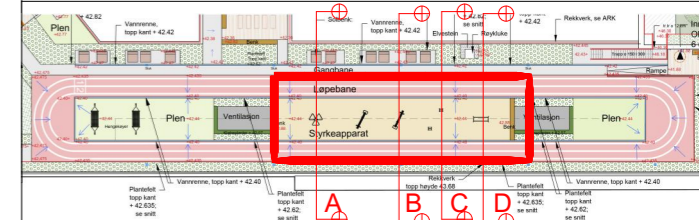
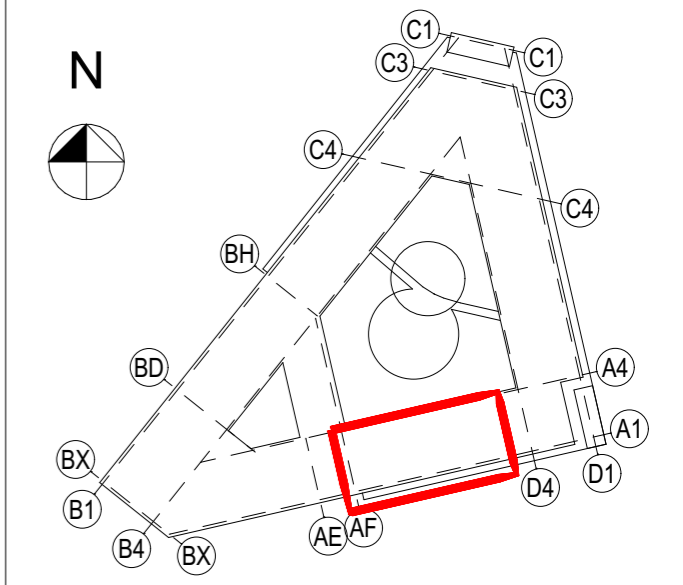


Betongfundament: 2000 x 1000
(varierende tykkelse, min 150mm)

D) Dungen Barr



Betongfundament: 2500 x 1200
(varierende tykkelse, min 150mm)



Rev. dato	Tegn.	Kontr.	Merknad	Rev

Totalentreprenør

NCC NCC Norge AS
Brøsetveien 164
7069 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

Prosjekterende

Pir II AS
SIVILARKITEKTER MNAL
FJORDGATA 21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 40 80
firmapost@pir2.no | www.pir2.no

Byggherre / prosjekt

Teknostallen BT5
KLP Teknobyen AS
orgnr 990 598 746
en del av
KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningsfase: **DETALJPROSJEKT**

Tegningsstatus:

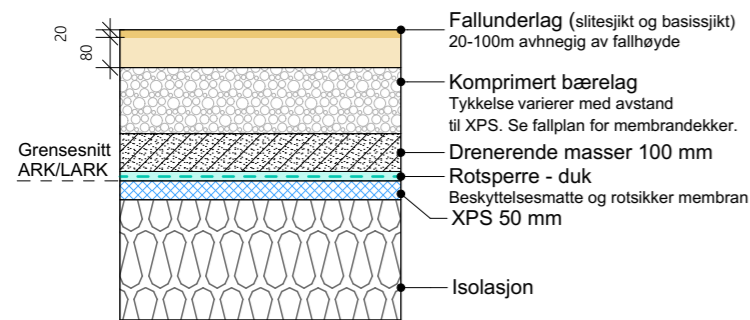
© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBEIDSTEGNING" kan benyttes som produksjonstegninger.

Prosjektnr: 2020083	Koordinatsystem: NTM10	Høydesystem: NN2000
Format: A3	Målestokk: 1:4,005, 1:40	Tegnet: ER
Kontr.:KJ	Dato: 03.10.2022	Revisjon:

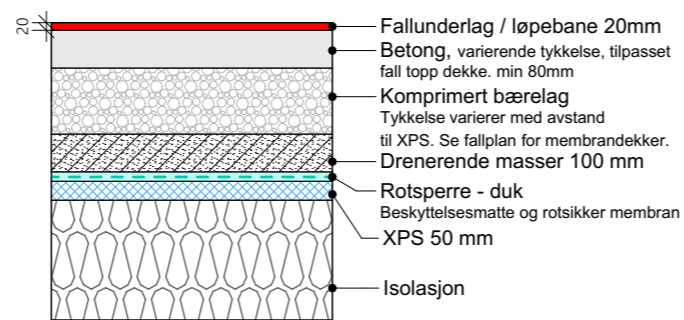
Tegning nr.: **F03-01 06 L 700 01 001**

Tegning: **Detalj 6.etg Takhage og trening - fundam. tr. utstyr**

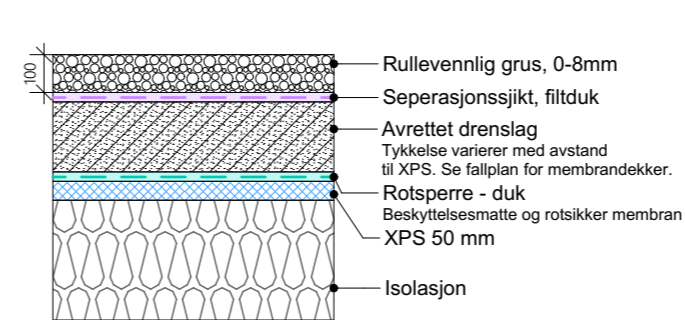
OPPBYGGING DEKKER TAK - harde dekker



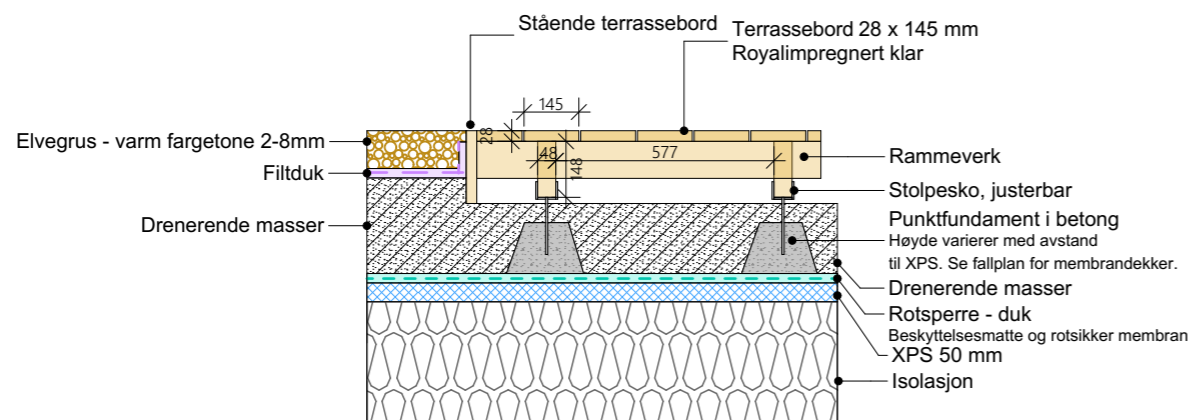
Fallunderlag



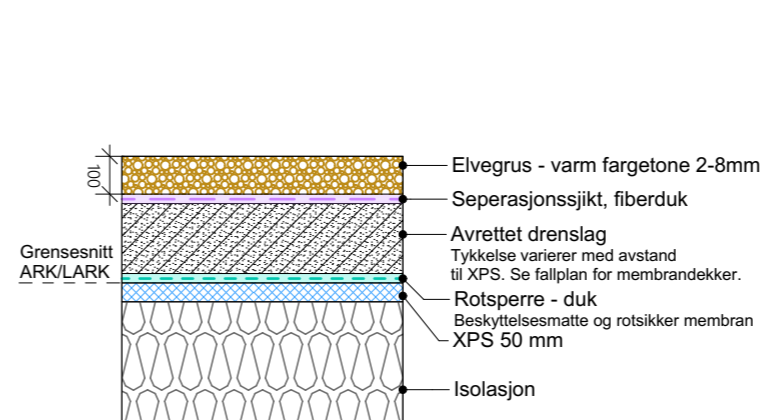
Betongdekke
(Samme prisnipp for øvrig betongdekker uten fallunderlag)



Grusdekke - gangvei



Tredekke




Grusdekke - dyrkningsområde

MERKNADER

Rev.dato	Tegn.	Kontr.	Merknad	Rev

Totalentreprenør

NCC  **NCC Norge AS**
Brøsetveien 164
7069 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

Prosjekterende

Pir II  **Pir II AS**
SIVILARKITEKTER MNAL
FJORDGATA21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 40 80
firmapost@pir2.no | www.pir2.no

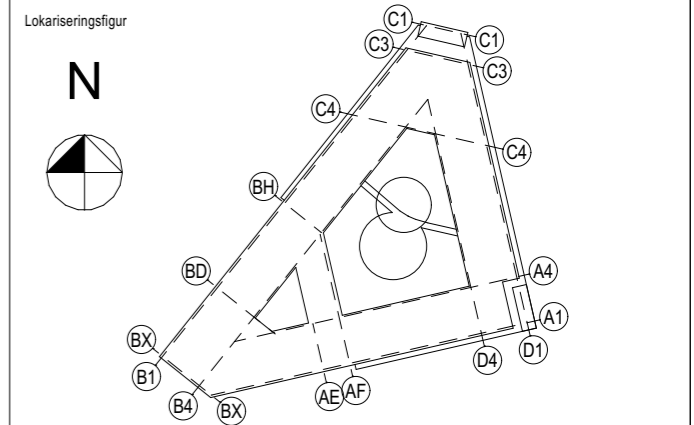
Byggherre / prosjekt

KLP  **Teknostallen BT5**
KLP Teknobyen AS
orgnr 990 598 746
en del av
KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningsfase: **Detaljprosjekt**

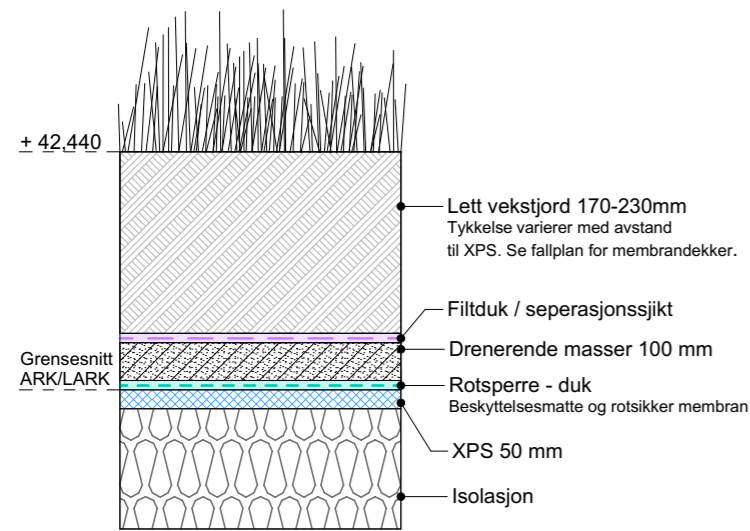
Tegningsstatus: **Arbeidstegning**

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBEIDSTEGNING" kan benyttes som produksjonstegninger.

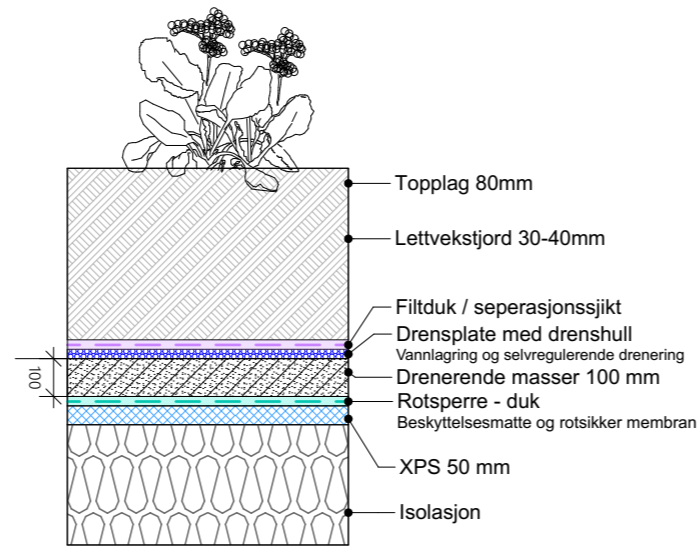


Prosjektnr: 2020083	Koordinatsystem: NTM10	Høydesystem: NN2000
Format: A3	Målestokk: 1:20	Tegnet: ER
Kontr: KJ	Dato: 15.10.2022	Revisjon:
Tegning nr: F03-01 TT L 700 01 001 B	Tegning: Snitt oppbygging dekker Tak B	

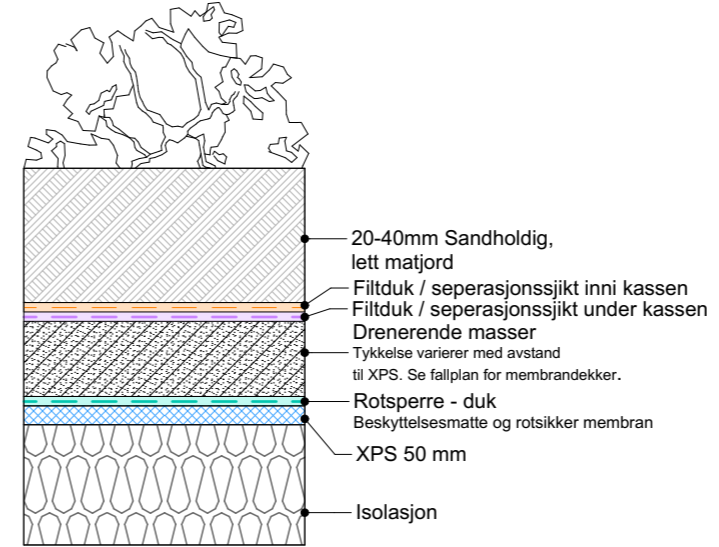
OPPBYGGING DEKKER TAK - vegetasjonsfelt



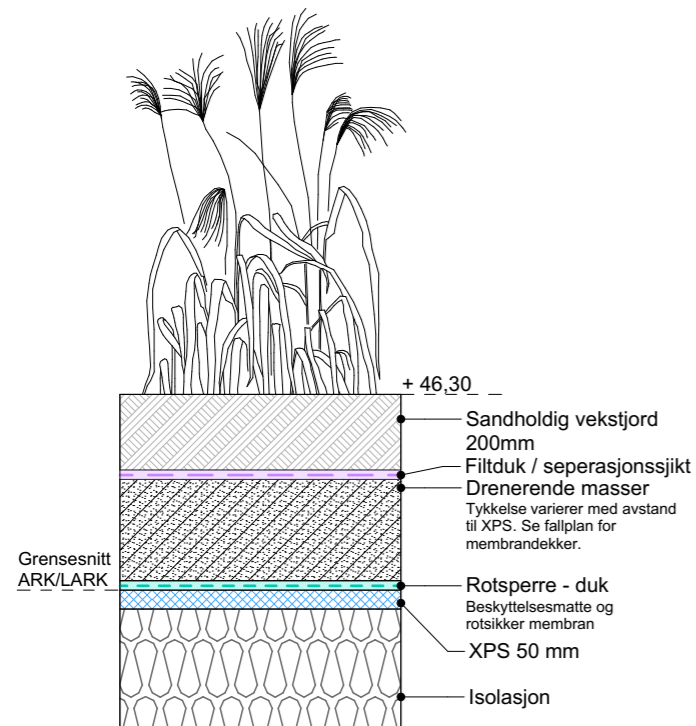
Ferdigplen / gressareal



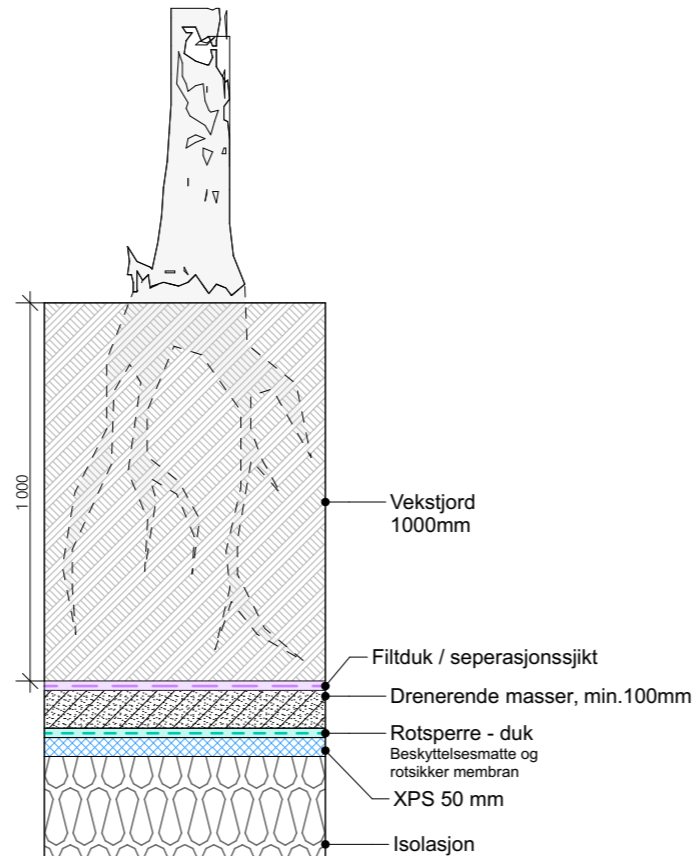
Plantekasser



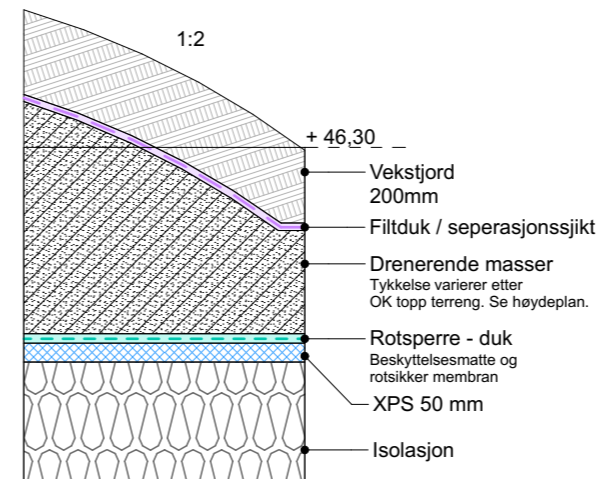
Dyrkningskasser



Eng



Trær



Oppbygd terreng

MERKNADER

Rev. dato	Tegn.	Kontr.	Merknad	Rev

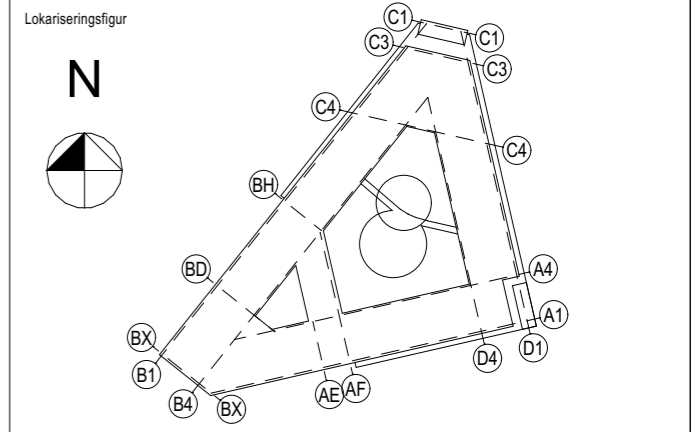
Totalentreprenør
NCC Norge AS
 Brøsetveien 164
 7069 Trondheim
 73 98 51 00
 firmapost@ncc.no

Prosjekterende
Pir II AS
 SIVILARKITEKTER MNAL
 FJORDGATA21 - 7010 TRONDHEIM
 73 98 40 80
 firmapost@pir2.no | www.pir2.no

Byggherre / prosjekt
KLP
Teknostallen BT5
 KLP Teknobyen AS
 orgnr 990 598 746
 en del av
 KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningsfase: **Detaljprosjekt**
 Tegningsstatus: **Arbeidstegning**

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBEIDSTEGNING" kan benyttes som produksjonstegninger.

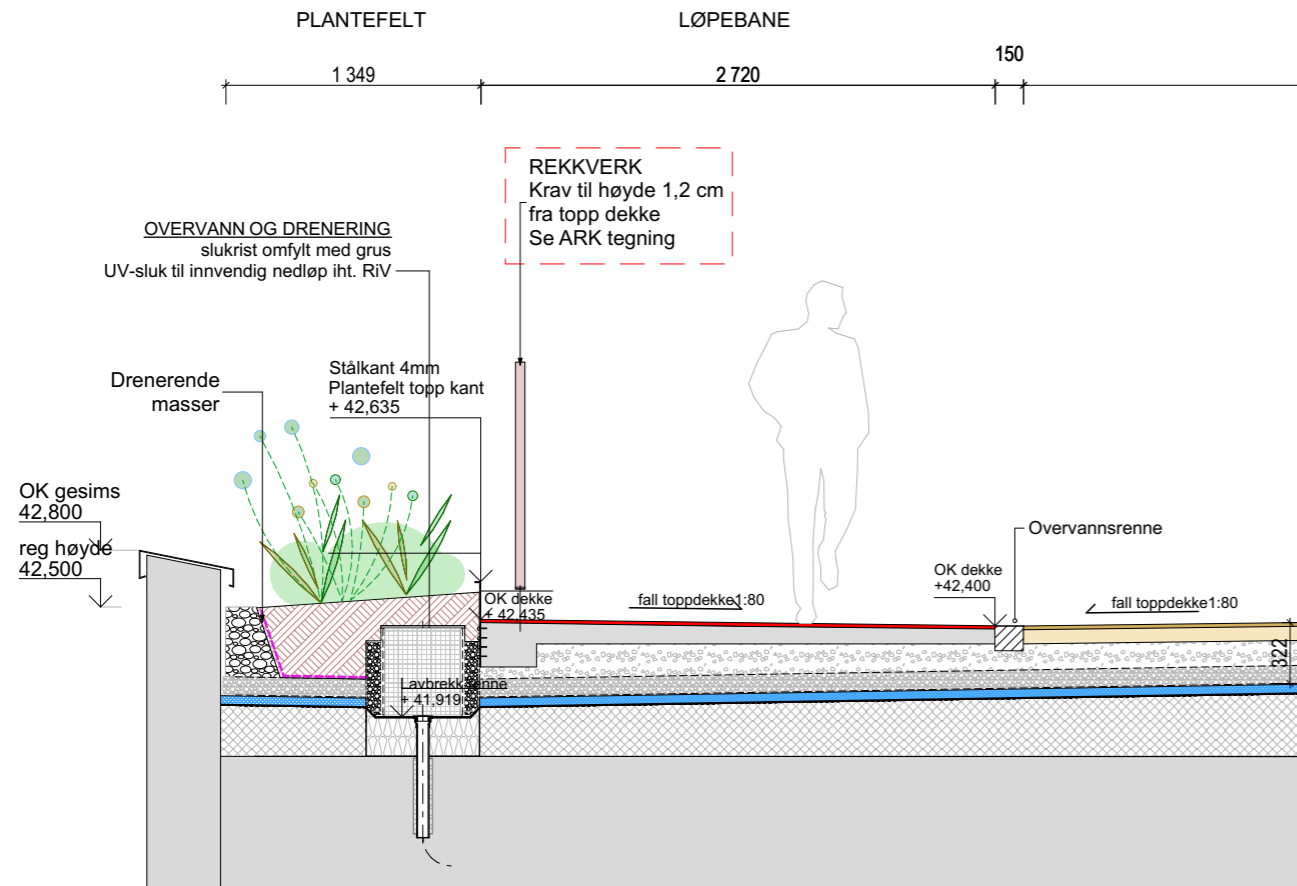


Prosjektnr: 2020083	Koordinatsystem: NTM10	Høydesystem: NN2000
Format: A3	Målestokk: 1:20	Tegnet: ER
Kontr.:KJ	Dato: 15.10.2022	Revisjon:

Tegning nr.: **F03-01 TT L 700 01 001**
 Tegning: **Snitt oppbygging dekker Tak A**

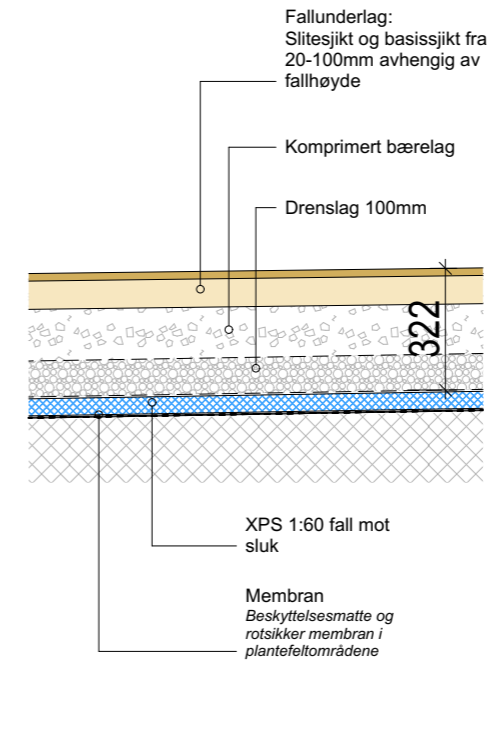
SNITT OPPBYGGING TRENINGSOMRÅDE 6.ETG

Todelt fremstilling av tverrsnittet



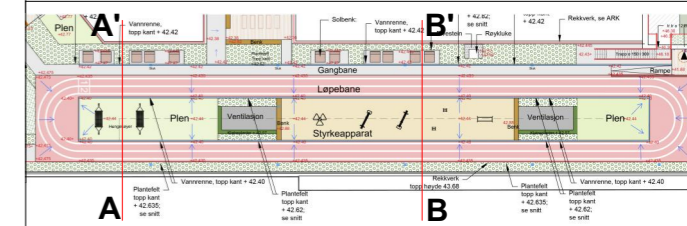
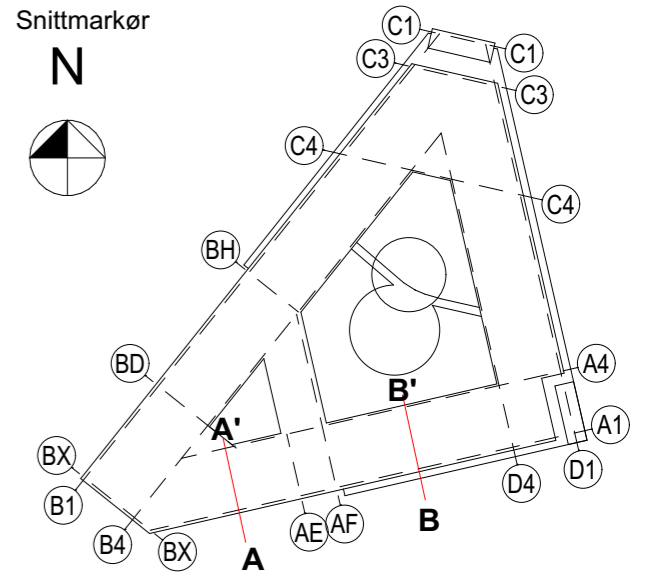
B-B' Snittet mot øst viser møte mellom plantefelt, løpebane og treningsarealet ved sluk plassering. 1:40

Detalj 1:20



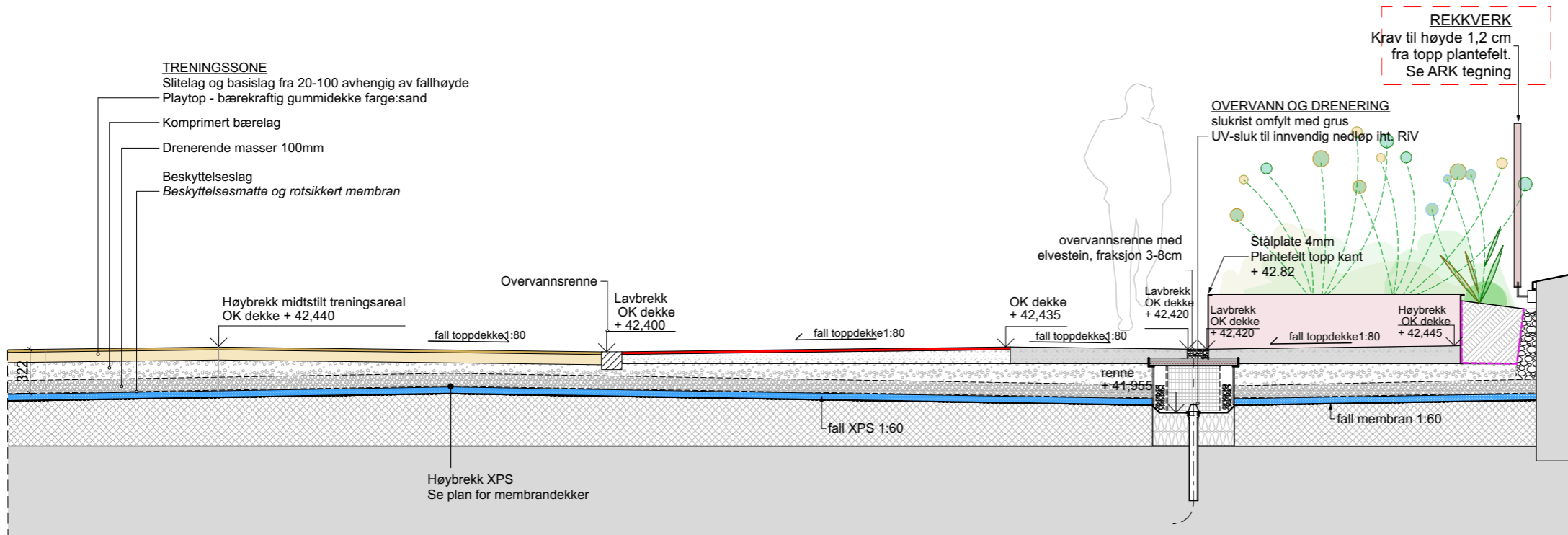
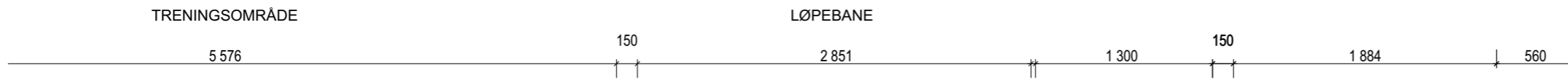
Oppbygging dekke for fallunderlag

Snittmarkør




Rev.	dato	Tegn.	Kontr.	Merknad	Rev

TRENINGSOMRÅDE



B-B' Snitt mot vest. 1:40

Totalentreprenør



NCC Norge AS
Brøsetveien 164
7069 Trondheim
73 98 51 00
firmapost@ncc.no

Prosjekterende



Pir II AS
SIVILARKITEKTER MNAL
FJORDGATA21 - 7010 TRONDHEIM
73 98 40 80
firmapost@pir2.no | www.pir2.no

Byggherre / prosjekt



Teknostallen BT5
KLP Teknobyen AS
orgnr.990 598 746
en del av
KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningsfase: **DETALJPROSJEKT**

Tegningsstatus: **Arbeidstegning**

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBEIDSTEGNING" kan benyttes som produksjonstegninger.

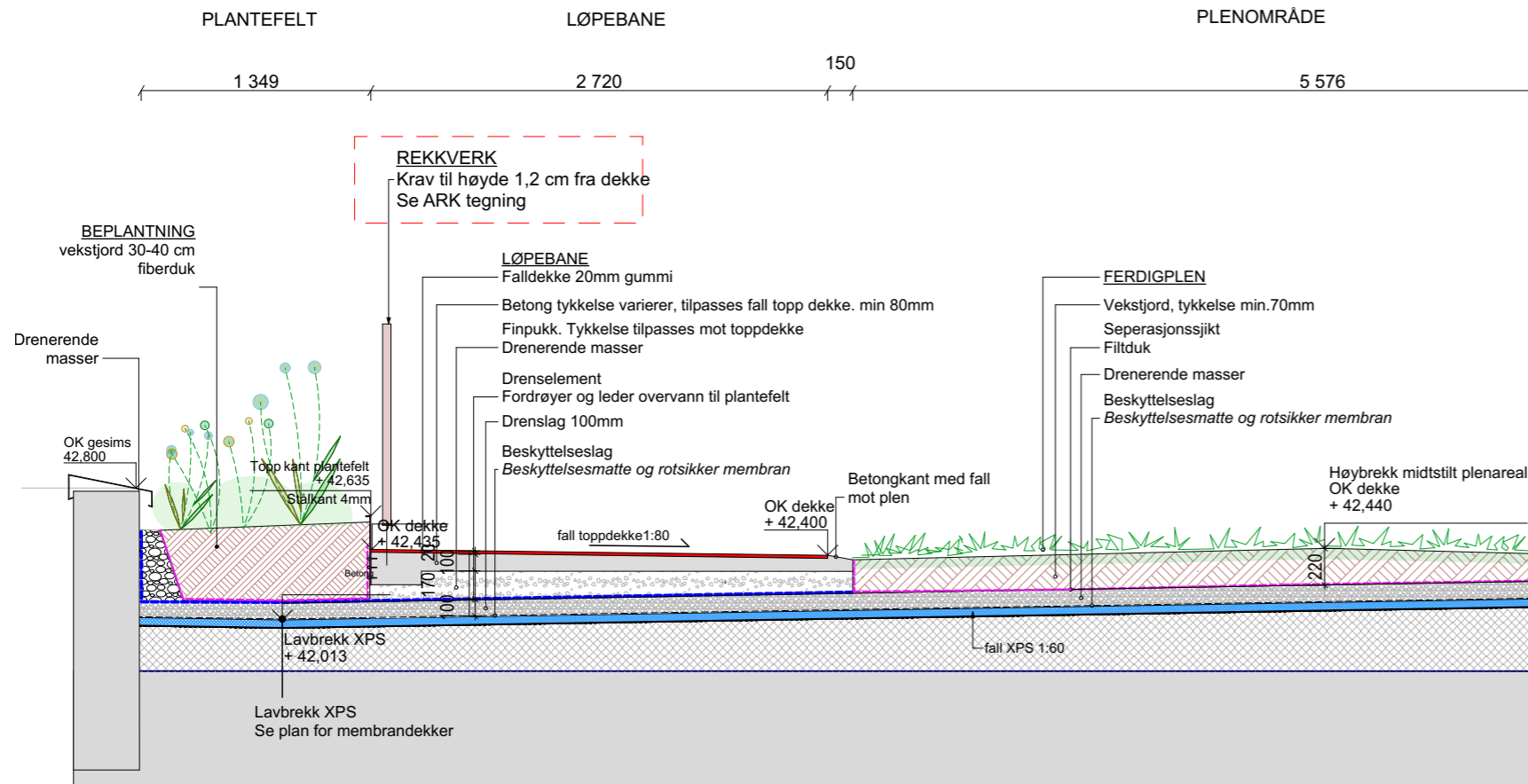
Prosjektnr: 2020083	Koordinatsystem: NTM10	Høydesystem: NN2000
Format: A3	Målestokk: 1:40	Tegnet: ER
Kontr.:KJ	Dato: 01.11.2022	Revisjon: A

Tegning nr. **F03-01 TT L 700 01 003**

Tegning: **Snitt oppbygging treningsområde TAK**

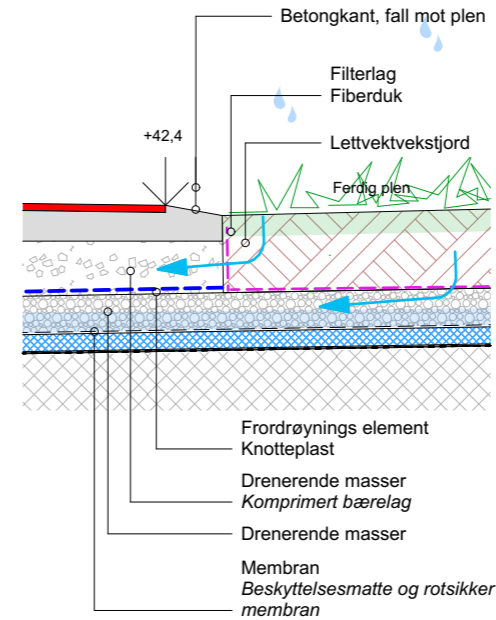
SNITT OPPBYGGING LØPEBANE OG PLEN 6.ETG

Todelt fremstilling av tverrsnittet



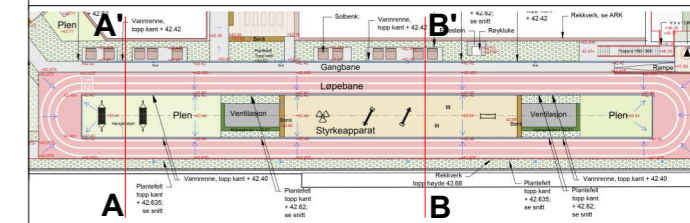
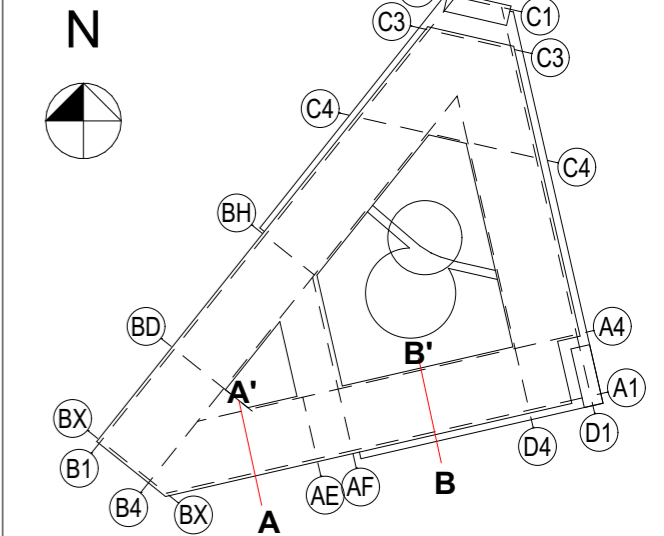
A-A' Snittet viser møte mellom plantefelt, løpebane og gressareal, øst. 1:40

Detalj 1:20

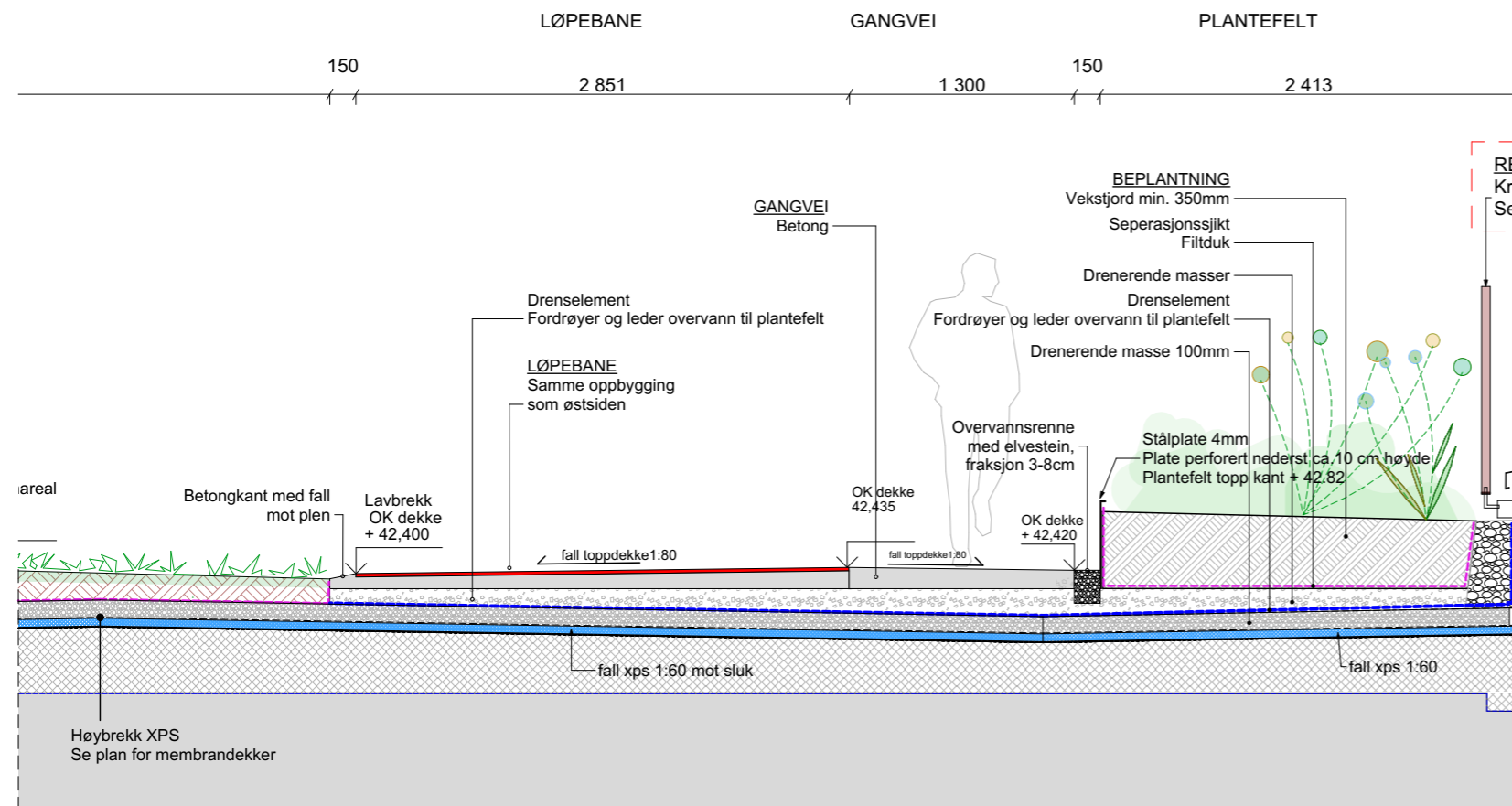


Prinsipp overgang løpebane/plenareal
 Overvannshåndtering
 Infiltrasjon
 Fordrøyning

Snittmarkør



Rev.	dato	Tegn.	Kontr.	Merknad	Rev



A-A' Snitt mot vest 1:40

Totalentreprenør
NCC Norge AS
 Brøsetveien 164
 7069 Trondheim
 73 98 51 00
 firmapost@ncc.no

Prosjekterende
Pir II AS
 SIVILARKITEKTER MNAL
 FJORDGATA21 - 7010 TRONDHEIM
 73 98 40 80
 firmapost@pir2.no | www.pir2.no

Byggherre / prosjekt
Teknostallen BT5
KLP Teknobyen AS
 orgnr.990 598 746
 en del av
KLP Eiendom Trondheim AS

Tegningsfase: **DETALJPROSJEKT**
 Tegningsstatus: **Arbeidstegning**

© Tegninger kan ikke benyttes annerledes eller i annen sammenheng enn forutsatt uten skriftlig samtykke. Kun tegninger merket "ARBEIDSTEGNING" kan benyttes som produksjonstegninger.

Prosjektnr: 2020083 Koordinatsystem: NTM10 Høydesystem: NN2000
 Format: A3 Målestokk: 1:40 Tegnet: ER Kontr: KJ Dato: 01.11.2022 Revisjon: A
Endring av vannrenne mot plen

Tegning nr: **F03-01 TT L 700 01 002** Tegning: **Snitt oppbygging plen og løpebane TAK**

Takdesign for fremtiden

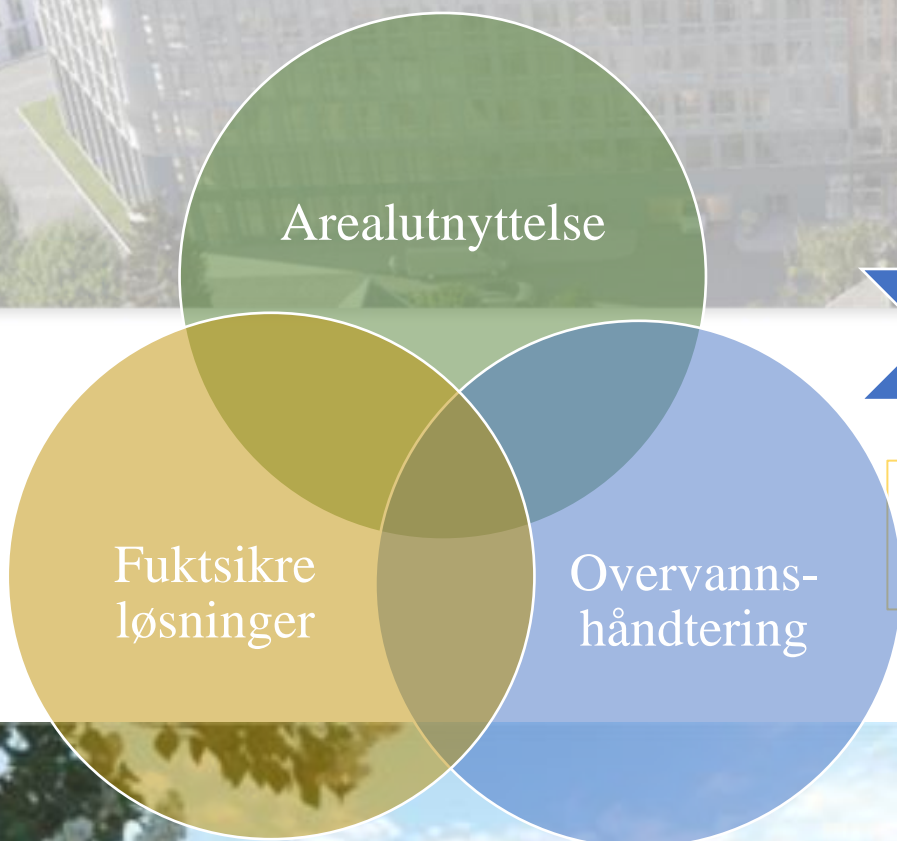
En studie i bygningstekniske løsninger på Teknostallens komplekse takkonstruksjon

Futuristic Roof Design
Exploring Building Technical Solutions for the Complex Roof Construction of Teknostallen

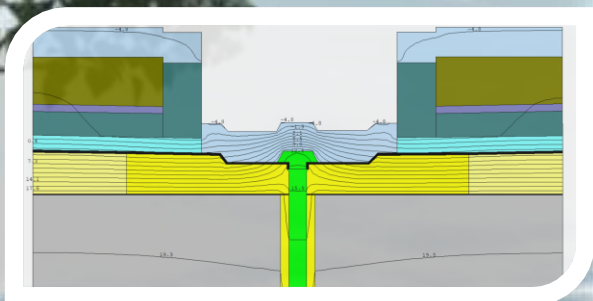
Intern veileder:
Bozena Dorota Hrynyszyn

Marius-Alexander Malmo Haugdal
Daniel André Remen Melland
Pernille Undersåker

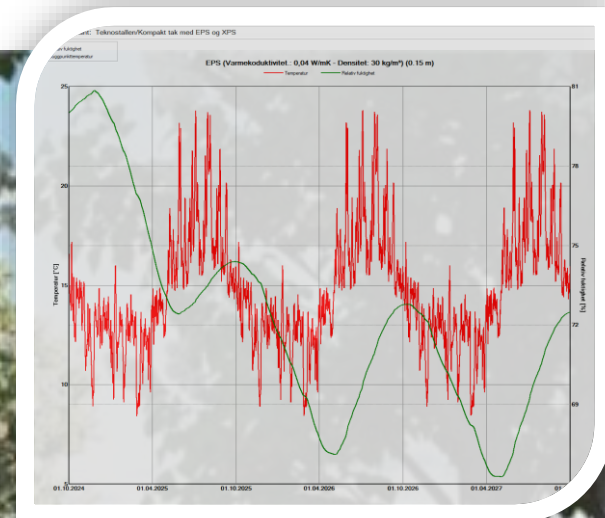
Eksterne kontakter:
Tommy Adolfsen: NCC
Inga Krattebøl: NCC



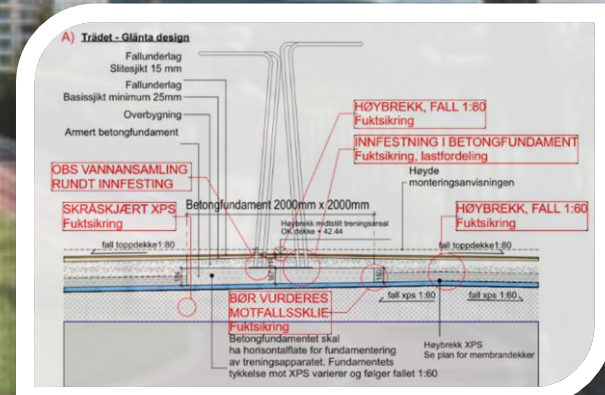
Gode byggtekniske løsninger muliggjør verdifull arealutnyttelse på Teknostallens tak



Termisk analyse av drenering



Fuktanalyse av kompakt tak



Byggteknisk analyse for treningsapparat

Takdesign for fremtiden

Trondheims største kontorbygg Teknostallen er i ferd med å reise seg. I den anledning har studenter ved NTNU valgt å utføre en studie i bygningstekniske løsninger på den komplekse takkonstruksjonen.



Teknostallen fra sør. Illustrasjon: NCC.

Teknostallen viser vei for bedre arealutnyttelse på tak

Tre studenter ved Instituttet for bygg- og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim har gjennom et samarbeid med NCC utarbeidet en bacheloroppgave med utgangspunkt i Teknostallens takkonstruksjon.

Et fremtidsrettet byggeprosjekt

Prosjektet omfatter mange fagområder, krever innovative bygningsteknikker og presenterer unike utfordringer og risikoer. I Teknostallens atrium vil det plantes en innvendig palmehage.

Økt fortetting i urbane områder

Taket på Teknostallen er et eksempel på hvordan grøntareal ikke bare kan bevares, men også skapes. Økt fortetting i urbane områder med reduksjon av naturlige dekker som infiltrerer overvann medfører utfordringer for overvannshåndteringen i byer. På Teknostallen skal det monteres grønt dekke med infiltrerende egenskaper som bidrar til områdets håndtering av overvann.



Teknostallens atrium med palmehage. Illustrasjon: NCC.

Utnyttelse av verdifullt areal

Byggets sentrale plassering i Trondheim gjør utnyttelsen av takarealet for rekreasjon verdifull siden området er nært brukerne. Ved å integrere både treningsapparater, løpebane, dyrkningsområde og område for sosialisering utvikles et innovativt prosjekt som kan inspirere aktører i lignende byggeprosjekter til å utnytte takarealene på en fremtidsrettet måte.

Kompakte tak er mye brukt på store bygg blant annet fordi de har høy energieffektivitet og enkelt danner et fuktsperrende sjikt. Ved å montere en blågrønn konstruksjon på det kompakte taket åpnes det opp for nye muligheter på takarealet i form av frodige rekreasjonsområder og forbedret overvannshåndtering. På grunn av økende nedbørsmengder og ekstremvær som følge av klimaendringer er dette en egenskap som blir viktigere i årene som kommer.

Bygningstekniske løsninger er blitt analysert og kvalitetssikret for å forebygge fuktskader.

Dette med ønske om å sikre høy kvalitet og lengre holdbarhet for Teknostallens komplekse takkonstruksjon.



*Teknostallens løpebane på takkonstruksjonen.
Illustrasjon: NCC*

Taket er bygningens femte fasade

Taket er den bygningsdelen som blir utsatt for de største klimatiske påkjenningene. Studentenes bacheloroppgave fokuserer på å undersøke og adressere utfordringer og risikofaktorer knyttet til kompakte tak, blågrønne tak og glasstak ved Teknostallen.

For at de innovative løsningene på taket skal være levedyktige over tid må de bygningstekniske løsningene være robuste. Gjennom vurderinger og analyser av de valgte løsningene ved Teknostallen fremstår det som at prosjekteringen er foretatt på en grundig måte med fokus på fukt sikring og tilfredsstillende av tekniske krav. Forebyggende tiltak som seksjonering av takflaten, nøyte planlagte detaljer og overganger gir gode muligheter for lang levetid for bygget.

*Komplekse kontorbygg,
kompakte tak, blågrønne tak,
glasstak, fuktskader,
forebyggende tiltak,
bygningstekniske løsninger.*



Teknostallens hovedinngang, på befaring. Foto: privat.