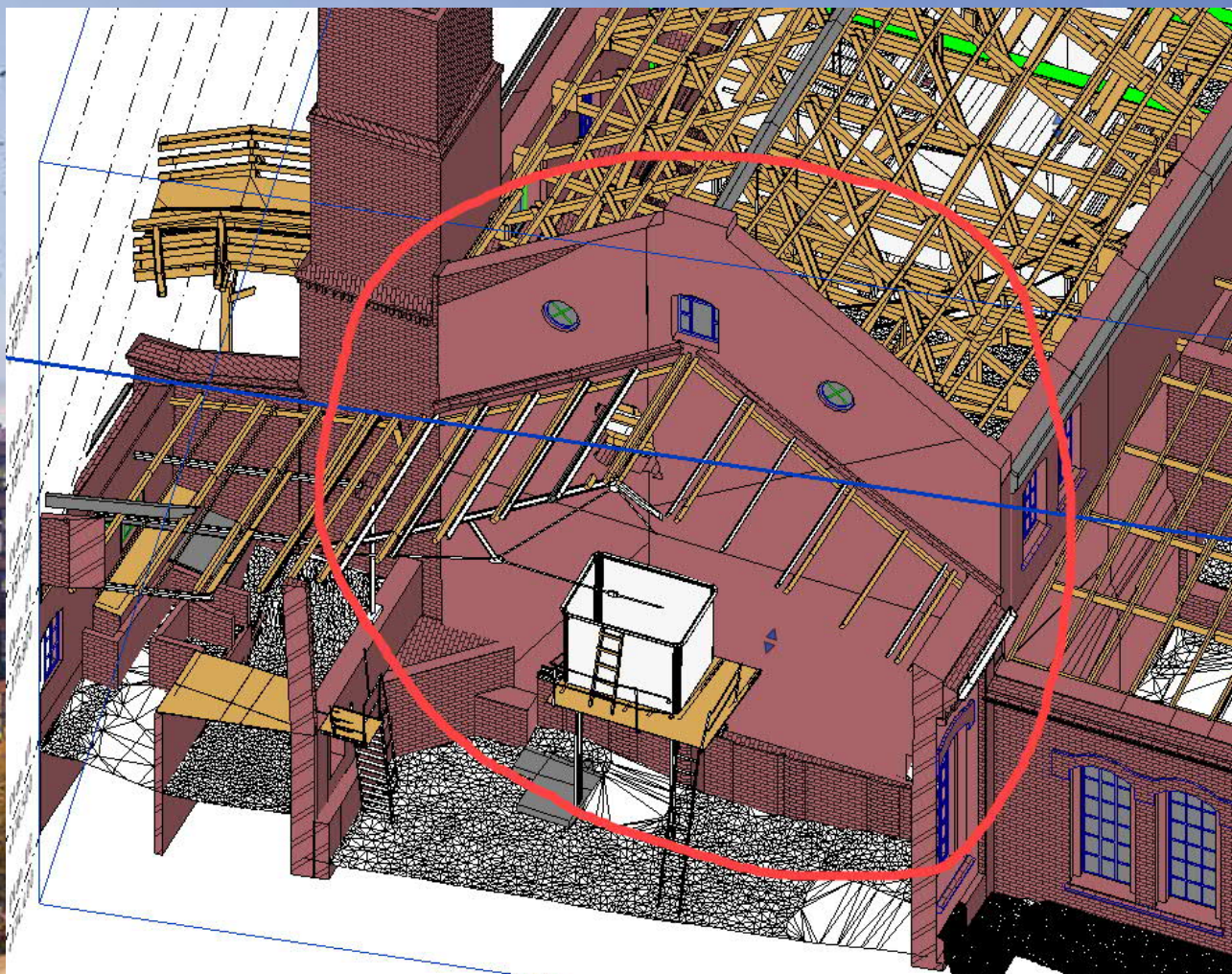


Klevfos industrimuseum

Stabilitetsvurdering av gavlvegg mellom fyrhus
og luthus



Revisjonshistorikk

Rev	Dato	Beskrivelse av endringen	Utarbeidet av	Godkjent av
00	08.02.2024	Første utsendelse	NOMHAA	NONAKA

Sweco Norge AS	967032271
Prosjekt	Klevfos industrimuseum - murvegg luthus/fyrhus
Prosjektnummer	10236443
Kunde	Anno Museum AS
Opprettet av	Magnus Rød Hatletveit
Dato	2024-01-22
Dokumentreferanse	Klevfos industrimuseum

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Befaring	5
3	Statisk vurdering av murvegg	7
3.1	Geometri og skjevstilling	7
3.2	Laster	9
3.3	Vurdering av eksisterende situasjon	11
3.3.1	Oppleggslaster	11
3.3.2	Estimerte krefter (momenter) i vegg:	12
3.3.3	Vurdering av forvitring av vegg i kjeller	14
3.3.4	Konklusjon – eksisterende situasjon:	15
3.4	Forslag til utbedringer	17
3.4.1	Oppleggslaster	18
3.4.2	Estimerte krefter (momenter) i vegg:	19
3.4.3	Konklusjon utbedring:	20
4	Konklusjon	21

1 Innledning

Sweco er forespurt om å gjøre en statisk vurdering av gavlveggen på det gamle luthuset ved Klevfos industrimuseum. I denne sammenheng er det utført en befaring, statiske vurderinger og forslag til utbedringstiltak for å stabiliseres veggen.

2 Befaring

Mandag 15.01.2024 ble det holdt en befaring på Klevfos Industrimuseum. Følgende personer var representert:

- Anders Nordbakken (Klevfos industrimuseum)
- Jarl Holstad (Klevfos industrimuseum)
- Arild Teppen (Klevfos industrimuseum)
- John Christian Forester (Sweco)
- Kathrin Lo Nateid (Sweco)

Befaringen startet med en gjennomgang av byggets historie og byggets status i dag. Klevfos industrimuseum er under en fredningsprosess. Det ble opplyst at luthuset ble bygd først, når bygget ble oppført er usikkert, men antagelig en gang før 1900-tallet. Fyrhuset ble bygd i 1906 og i 1909 var det en stor brann på tomte. Det ble nevnt at byggene ble pusset opp rundt 1978.

Teglsteiner som ble benyttet etter brannen kommer antagelig fra Fredrikstad. Man tror at veggen opprinnelig er pusset med enn K/C 80/20 mørtel. Det er utført mørtelanalyser i enkelte områder på veggen, men hvilket årstall mørtlene er fra er usikkert. Hele gavlveggen består av en 1 ½-steins veggtykkelse.

Det er ønske om at Sweco først og fremst gjør en vurdering av gavlveggens stabilitet. Det er blitt registrert store deformasjoner ut mot fyrhuset, spesielt i toppen av veggen og langs siden nærmest fyrhuspipen. Her er det registrert en utglidning på ca. 15 cm ved taket til fyrhuset. Det stiltes også spørsmål om det er nødvendig å sikre veggen slik den står i dag.

I 2021 ble det opprettet målinger i veggen for å kartlegge om det foreligger bevegelser i veggen og veggen ble scannet. I dag er alle gipsplombene som ble satt sprukket. Det er derimot ikke registrert noen endringer av veggens bevegelse siden 2021. Men i de målingene som er utført ble et punkt C benyttet som referansepunkt og hvis også dette punktet har flyttet på seg vil ikke denne målingen være pålitelig.

Det ble også opplyst at i bunnen av veggen sett fra luthuset så har murveggen vært i kontakt med en stor andel lut, ved at det lå fuktig jordmasser inntil veggen. Dette ble fjernet i fjor og man kan se at teglsteinene på denne siden av veggen er blitt kraftig forvitret. Her har nok antagelig luten trukket seg opp i murverket. Det er også ønskelig at Sweco gjør en vurdering av veggens kapasitet ift. hvor mye som er akseptabel gjenstående veggtykkelse mtp. den forvitringen som er oppstått i ettertid. Det antas at veggen i bunn er forvitret ca. 10-30% av veggens tykkelse.

Selve befaringen av veggen startet med at vi var inne i fyrhuset og så på veggens tilstand. I bunnen av veggen var de horisontale fugene relativt rette, noe som kan tyde på at det er lite setningsskader. Ellers ble det stilt spørsmål på om horisontallasten som trykker på fyrtaket også har forplantet seg til ytterveggen mot vest.

Så befarte vi veggen på øst siden (veggflaten fra luthuset) og her kom veggens utgliding tydelig til syne. I toppen av veggen var det en stor glippe mellom murveggen og taket. Det lå til og med snø på noen av trebjelkene som var festet inn mot veggen som følge av den store glippen i toppen av veggen. Vi har i ettertid av befaringen mottatt et bilde av veggen sett fra luthuset i hjørnet mot pipen som viser at deler av veggen er blitt gjenmurt og så pusset på utsiden, se Figur 1. Dette bildet er tatt i 2005. Tilsvarende bilde fra 2024 er også mottatt og her kan man se at mye av pussen er falt av. I tillegg ble det under befaring registrert en avstand mellom ytterkant puss og murveggen på ca. 2cm. Dette tyder på at veggen har beveget seg utover fra 2005 og frem til nå.

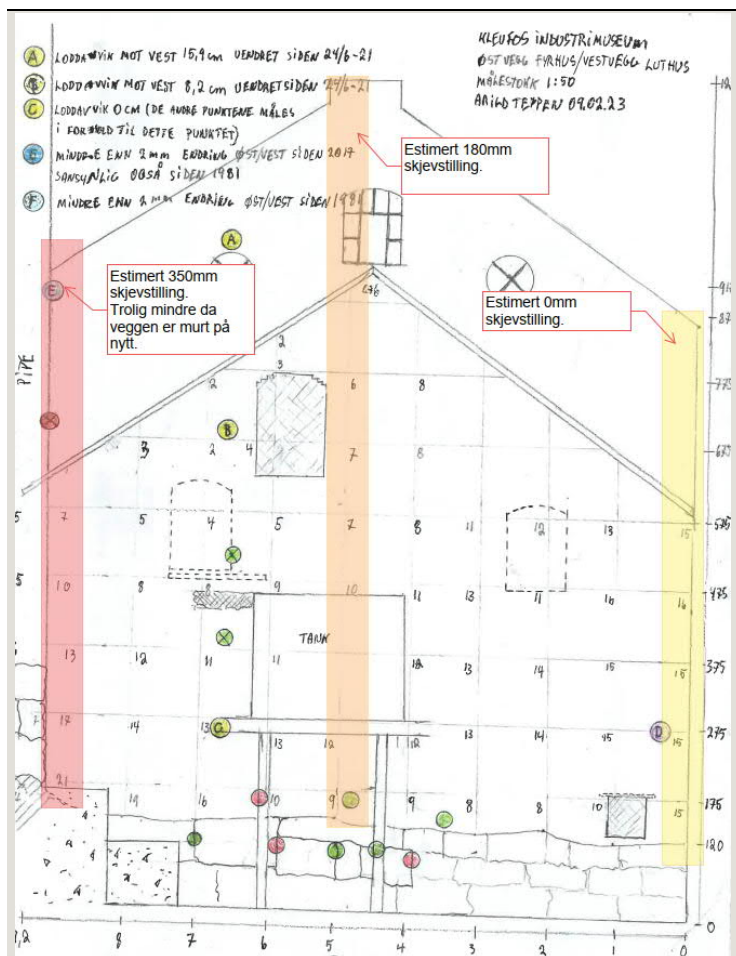


Figur 1: Hjørnet mellom gavlvegg og teglpipe fra 2005 Figur 2: Hjørnet mellom gavlvegg og teglpipe fra 2024

3 Statisk vurdering av murvegg

3.1 Geometri og skjevstilling

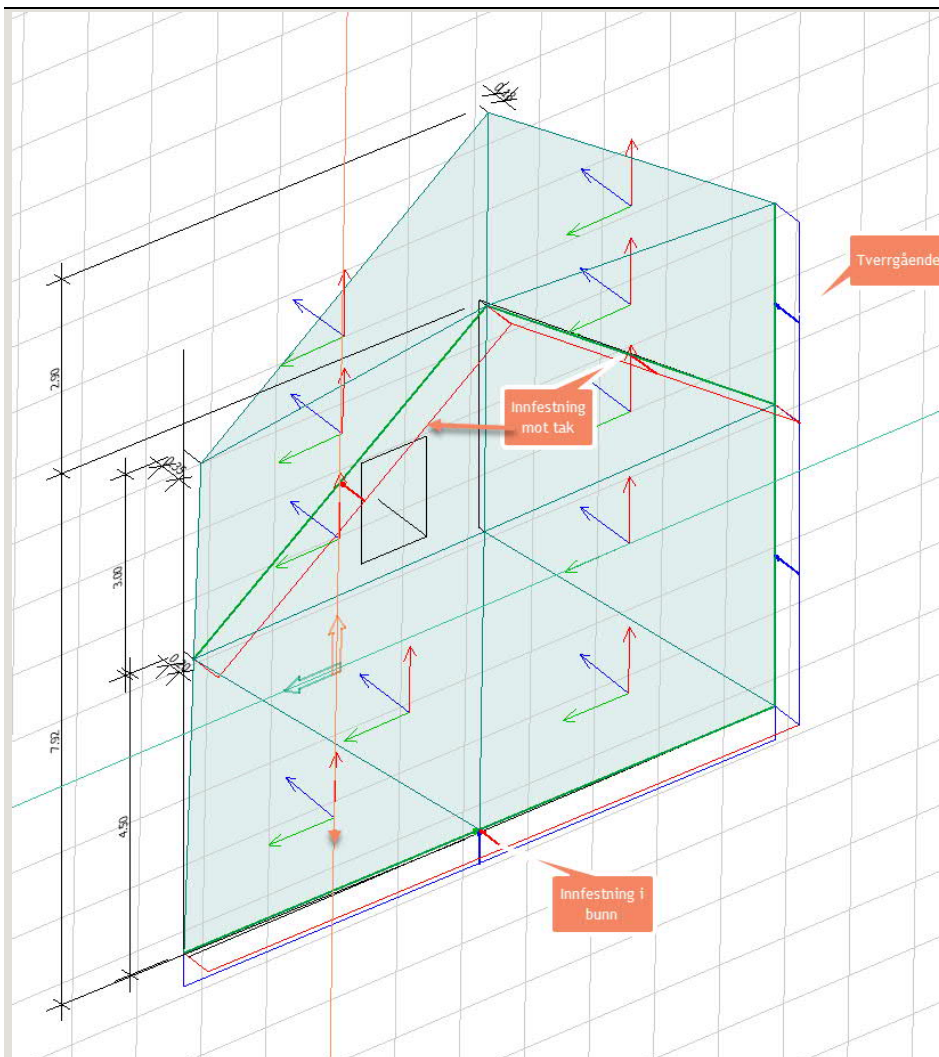
I mottatt underlag fra Klevfos Industrimuseum har Sweco fått oppgitt en approksimert skjevstilling for vegg som vist i Figur 3. Basert på disse innmålingene er det estimert en skjevstilling i topp av vegg basert på målt helningsvinkel. Merk at venstre område over nedre tak er oppmurt i nyere tid (estimert rundt 2005), og at dette kan ha medført at reel skjevstilling vil være noe lavere. Det velges å være konservativ i våre betraktninger.



Figur 3: Målt skjevstilling av vegg og estimert skjevstilling i topp av vegg.

Skjevstillingen påfører en ekstra eksentrisk last som igjen påfører en ekstra horisontalkraft samt økt moment på veggen. For modelleringen er veggen satt opp som en rekke skallelementer med forskyvninger tilsvarende estimerte verdier i Figur 4.

Veggen er modellert med vertikal innfesting på høyre side mot tverrgående teglvegg, samt innfesting mot det lavereliggende taket. Det er ikke medregnet innfesting på venstre side av veggen da det er observert en vertikal splitt mot pipen. Det er heller ikke medregnet innfestning i toppen av veggen mot det øvre taket i luthuset da det ble observert en glippe mellom vegg og tak her.



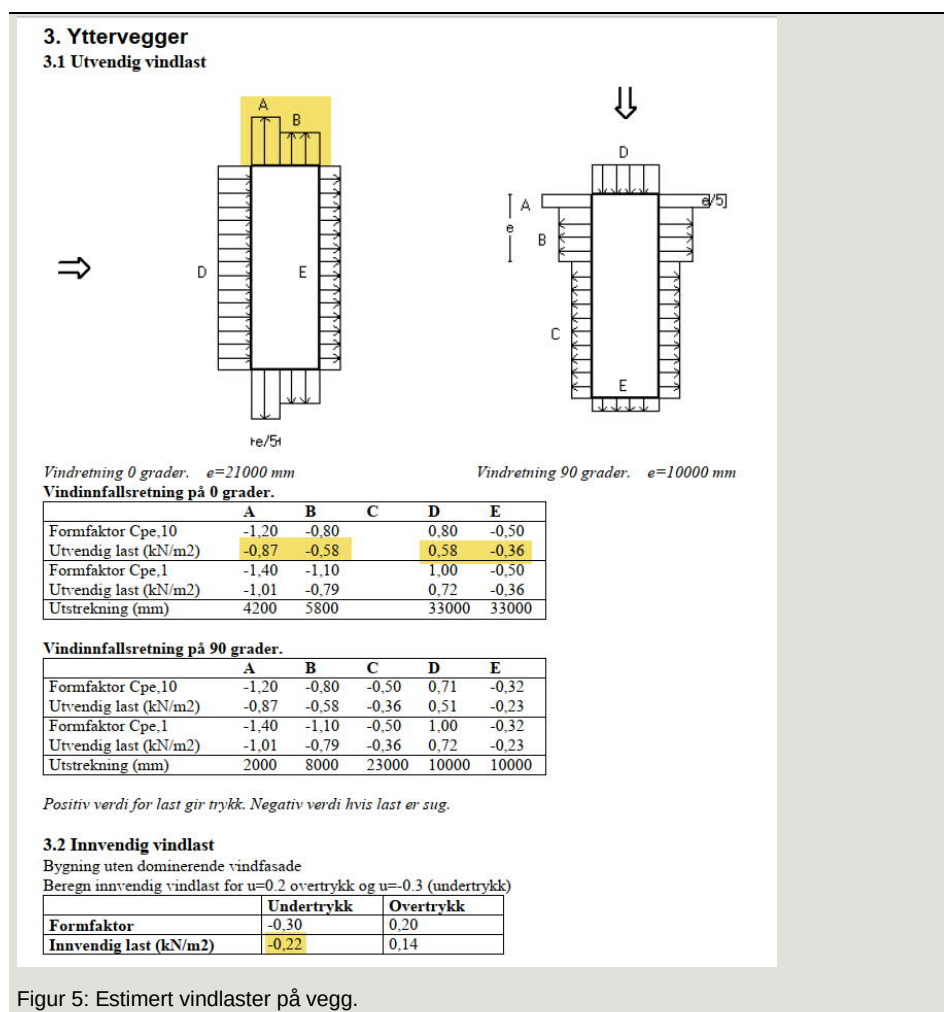
Figur 4: Modellert vegg i FEM-design

3.2 Laster

Ettersom takkonstruksjonene i både fyrhuset og luthuset er utført med takstoler opplagt på langveggene, vil ikke denne gavlveggen bære noe særlig taklast. Det vil komme noe last på veggen fra maskineriet som er delvis opphengt på veggen fra fyrhuset og dekket i luthuset, men disse neglisjeres i denne fasen da disse lastene vil være små, og i hovedsak vil virke gunstig på veggen. Disse lastene vil måtte tas hensyn til ved eventuell utbedring av forvitret teglvegg i bunn fra luthus siden.

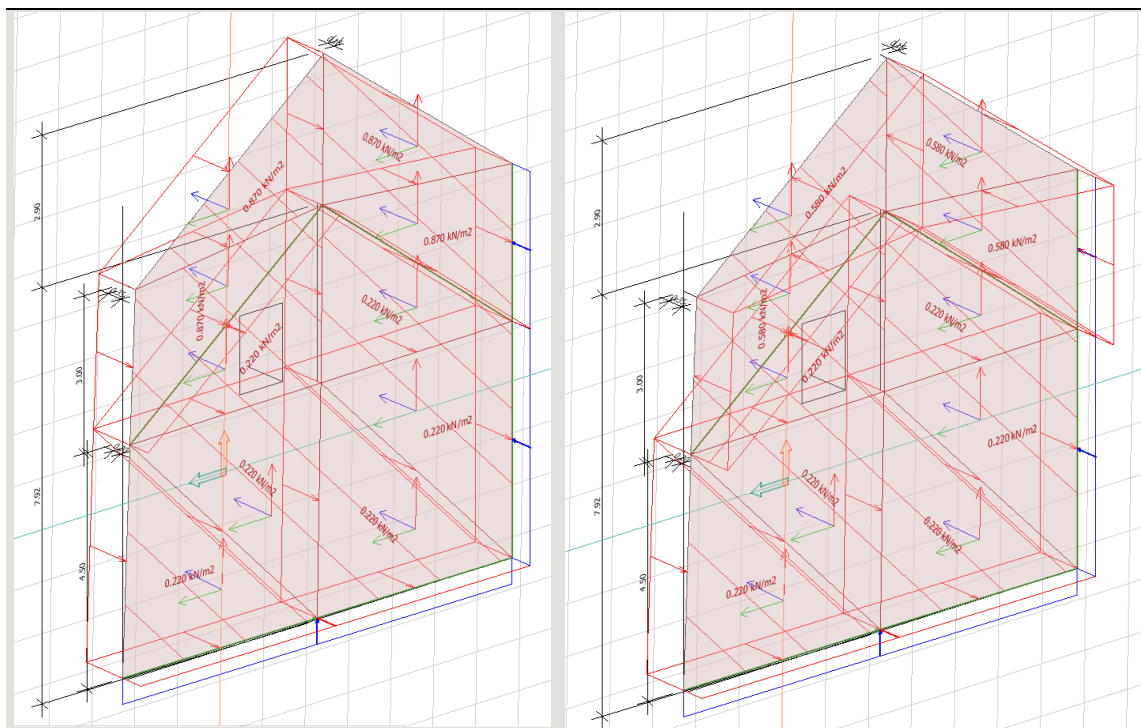
For denne fasen vurderes derfor kun eksentriske laster fra veggens egenvekt og vindlast som virker på veggen. Veggene er opplyst til å ha en tykkelse på halvannen teglstein (estimert til ca. 400mm), og det forutsettes en densitet på 25 kN/m³. Dette vil være noe konservativt, men man bør være på sikker side.

For den utkragede delen av veggen (utvendig del, som stikker over fyrhuset) vil det virke en vindlast. Denne er beregnet i Ove Sletten programmet: Lastberegninger og resultatet er vist i Figur 5. Kritisk last er beregnet til å være mellom 0.58 og 0.87 kN/m². Det velges å være konservativ, og estimerer med største last. Vegg vil også måtte tåle en innvendig vindlast på opptil 0.22 kN/m².



Figur 5: Estimert vindlaster på vegg.

Estimerte vindlaster gir følgende vindlaster på veggen:



Figur 6: Kritisk vindlast for topp av vegg. (ULS_1)

Figur 7: Kritisk vindlast for bunn av vegg. (ULS_2)

Skjevstillingen resulterer i at kritiske krefter i den øverste delen av veggen vil oppstå når det virker et sug på den utkragete veggen over taket på fyrhuset. For den nedre delen av veggen vil det derimot være kritisk når det virker et trykk på den øverste delen av veggen. Det regnes derfor to lasttilfeller for vind som vist i Figur 6 og Figur 7.

Basert på dette er det satt opp to lasttilfeller for de to forskjellige lastsituasjonene for vind. Som en forenkling er både egenvekt og variabel last satt som dominerende laster da dette er konservativt:

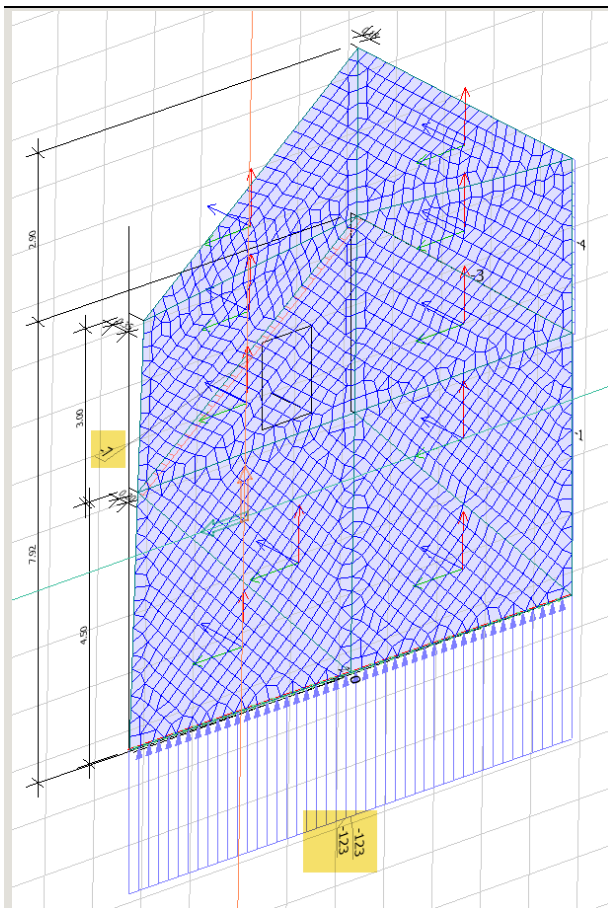
1	ULS_1	U	1.35 Egenvekt
			1.50 Vindlast1
2	ULS_2	U	1.35 Egenvekt
			1.50 Vindlast 2
3	ULS_3	U	1.35 Egenvekt

Figur 8: Lastkombinasjoner for vind.

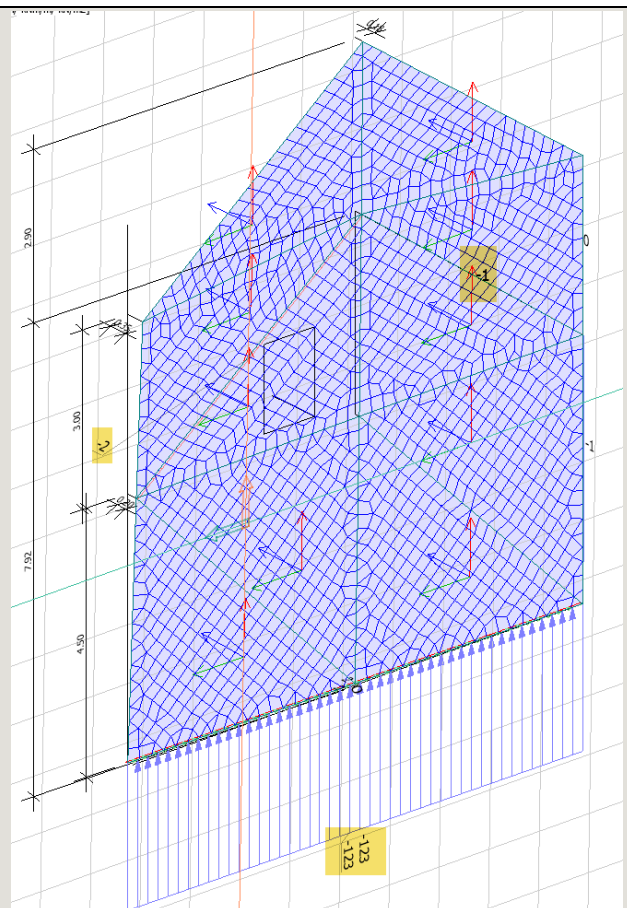
3.3 Vurdering av eksisterende situasjon

3.3.1 Oppleggslaster

For eksisterende situasjon er følgende oppleggslaster estimert for kritisk situasjon som vist i Figur 9. Bidraget fra veggens skjevstilling (kun egenlast) er også estimert i Figur 10:



Figur 9: Kritisk oppleggslaster fra vindlast og egenvekt

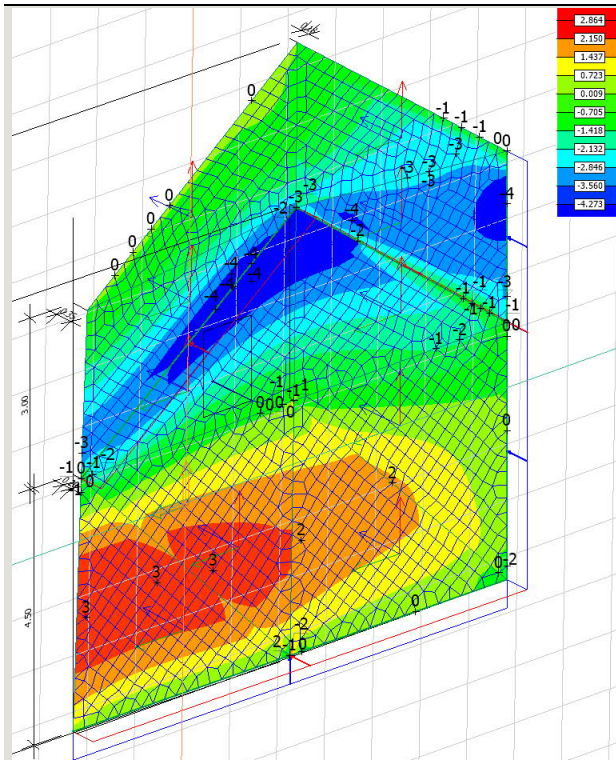


Figur 10: Kritisk oppleggslaster fra egenvekt.

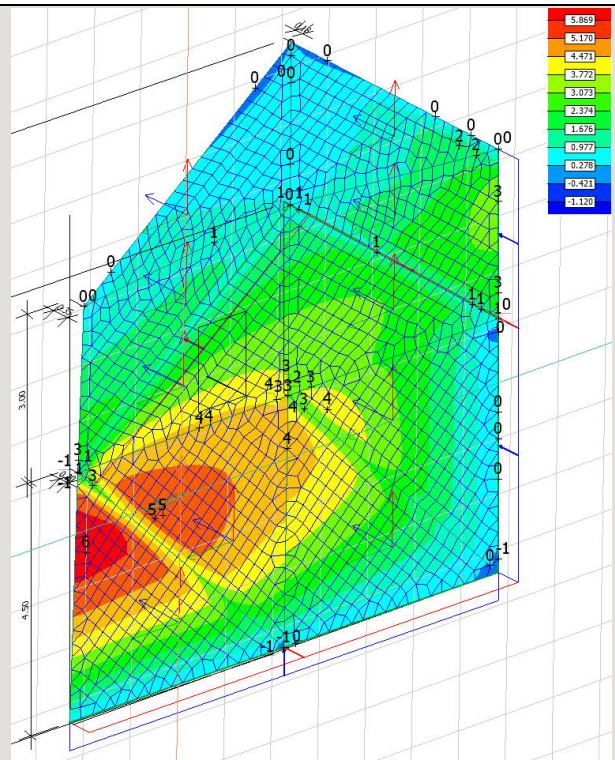
Beregninger for dagens situasjon vist i Figur 9 tilsier at vegg vil presse mot taket i fyrhuset med en dimensjonerende last på opp mot 7kN/m (700kg/m) for kritisk lasttilfelle.

Fra vurderingen av skjevstillingen i Figur 10 kommer det frem at rundt 2 kN/m av denne lasten skyldes veggens skjevstilling, altså ikke medtatt vindlast. Dette utgjør rundt 30% av det kritiske lasttilfellet.

3.3.2 Estimerte krefter (momenter) i vegg:



Figur 11: Kritisk vertikalt moment for lasttilfelle ULS_1



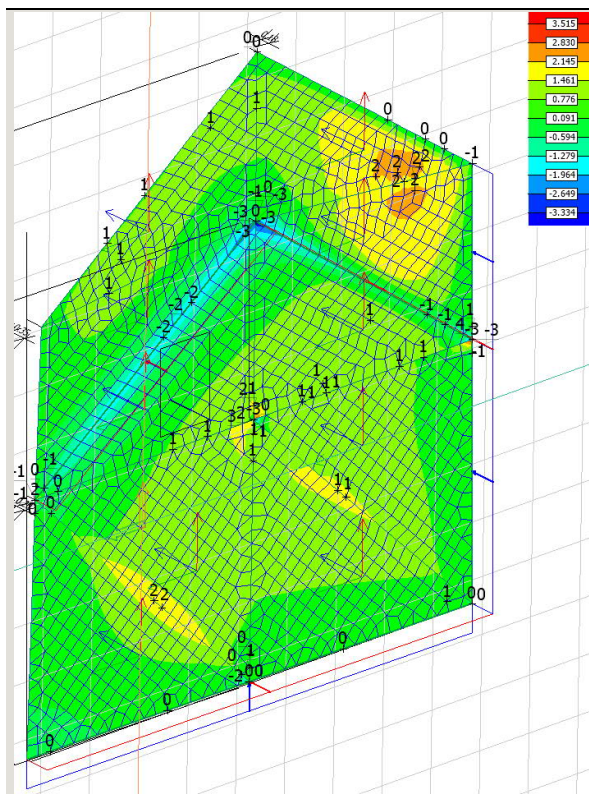
Figur 12: Kritisk vertikalt moment for lasttilfelle ULS_2

Innspenning av utkraget vegg over nedre tak:

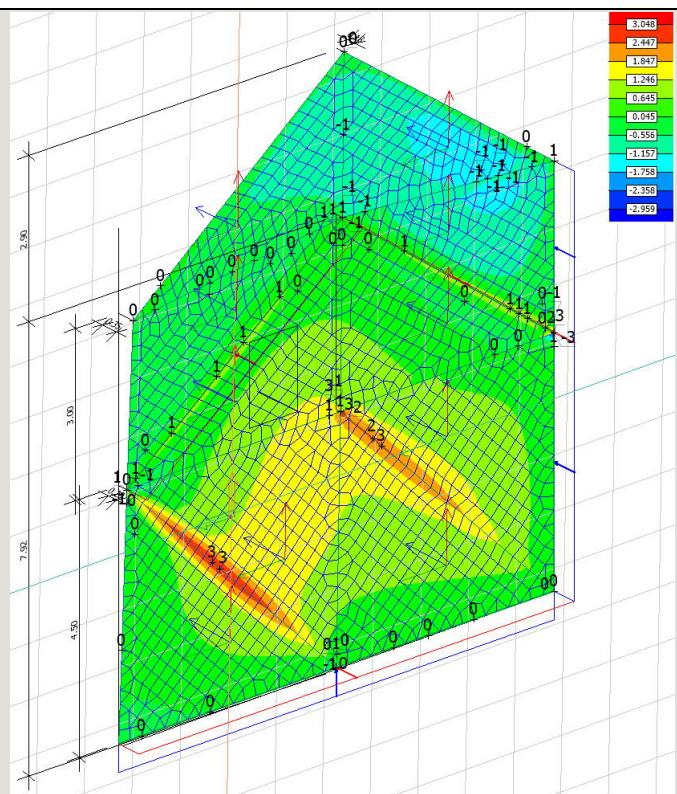
For innfestingen mot det nedre taket er det estimert en vertikal momentkapasitet på ca. 1.8 kNm. Fra Figur 11 kommer det frem at kritisk moment blir ca. 4 kNm i topp (mørkeblå sone). Dette gir en utnyttelse på rundt 220% for dagens situasjon.

Kritisk vertikalt moment i nedre del av vegg mot pipe:

For den nedre delen av vegg er det estimert en vertikal momentkapasitet på ca. 3.9 kNm. Fra Figur 12 fås et kritisk moment på 6 kNm for dette området. Dette gir en kritisk utnyttelse på rundt 150% for dagens situasjon.



Figur 13: Kritisk horisontalt moment for lasttilfelle ULS_1



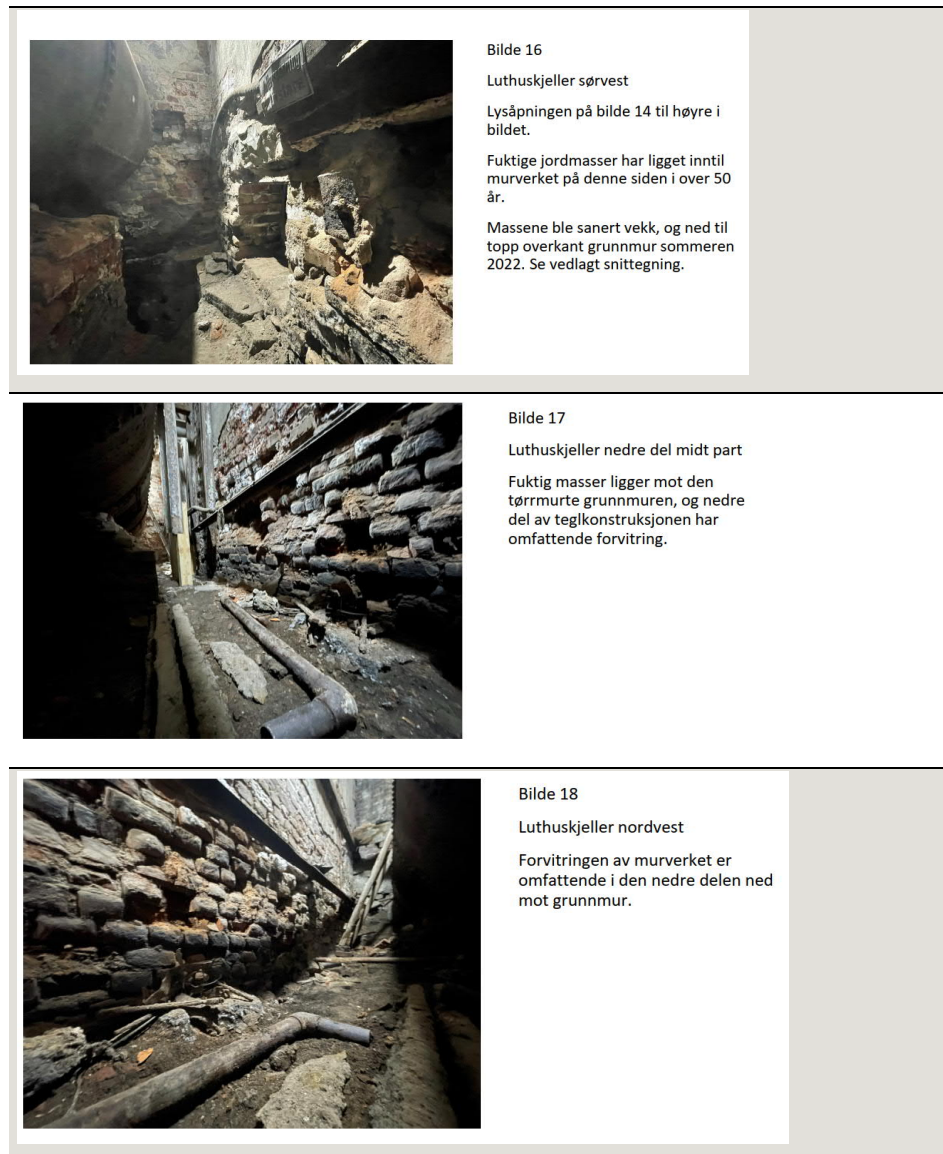
Figur 14: Kritisk horisontalt moment for lasttilfelle ULS_2

Kritisk horisontalt moment:

Den minste horisontale momentkapasiteten er regnet til å være ca. 2.7 kNm ved innfesting mot taket i fyrhuset, og rundt 4 kNm for det kritiske momentet i nedre del av vegg. Horizontal momentkapasitet anses derfor ikke som et problem basert på opptredende krefter vist i Figur 13 og Figur 14.

3.3.3 Vurdering av forvitring av vegg i kjeller

I kjelleren er det observert omfattende forvitring av teglveggen som vist i bilder i Figur 15 hentet fra en tidligere fotodokumentasjon av luthus-gavlen fra 2022.



Figur 15: Bilder hetnet fra fotodokumentasjon for luthus-gavl datert 10.02.2022

Stabilitetsvurderingen av veggen tar ikke hensyn til forvitringen av teglveggene i bunnen av kjelleren. Forvitringen vil påføre veggen ytterligere indre krefter. Etter som forvitringen forekommer mot luthuset vil denne effekten utgjøre mest der hvor veggen har minst skjevstilling. Basert på bildene i Figur 15 vil dette også være området med størst forvitring.

Basert på beregninger i kapittel 3.3.1 er egenvekten fra veggen estimert til å gi et trykk ved opplegg på rundt 120 kN/m. I tillegg til dette vil det være en last fra tanken i fyrhuset og dekket i luthuset. Dersom tanken forutsettes tom og dekket i luthuset spenner langs gavlveggen vil disse komponentene tilføre lite last i tillegg til veggens egenvekt.

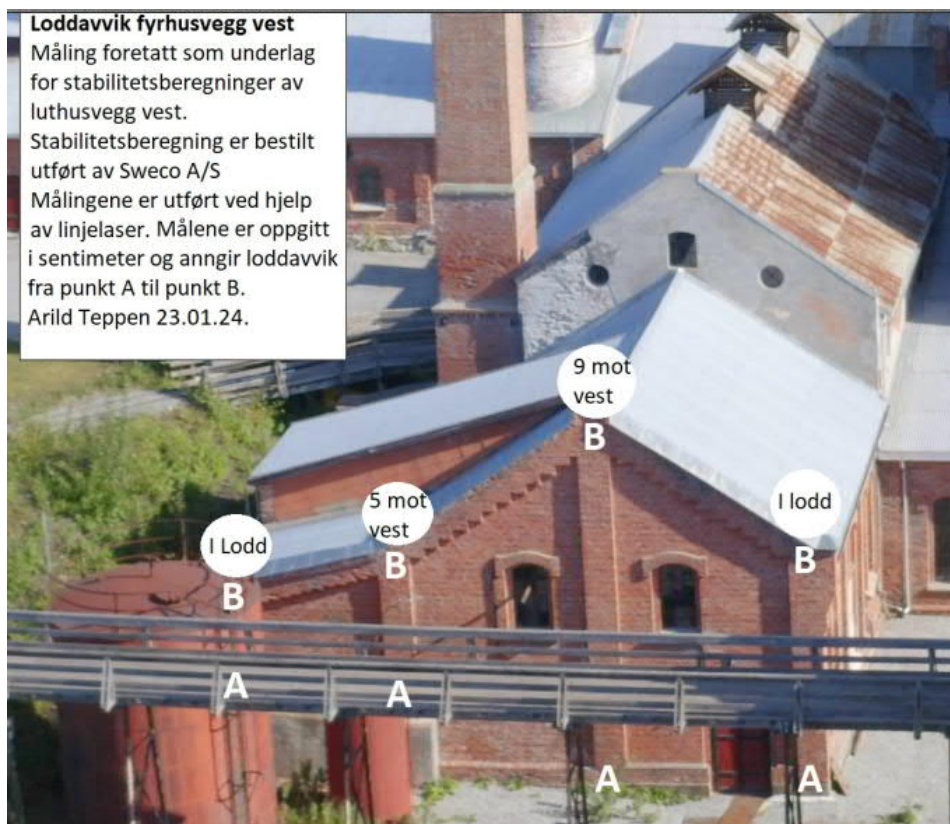
For denne betraktningen forutsettes det at lasten i bunn av vegg ikke overskrider 200 kN/m. Med en antatt trykkapasitet for teglveggen på 1 N/mm² kreves en effektiv gjennomsnittlig veggtykkelse på 200mm for å ta opp overliggende trykk.

Med en effektiv veggtykkelse på en og en halv teglstein vil det være tilstrekkelig trykkapasitet med en steins veggtykkelse mtp. trykk i bunn av veggen. Dette betyr at det vil være mulig å omfordele krefter i veggen og gjøre utbedrende arbeider seksjonsvis. Det vil derimot kunne bli behov for noe stimplingssikring for å sikre at veggen ikke velter inn i fyrhuset som følge av eksentriske laster når arbeidene pågår.

3.3.4 Konklusjon – eksisterende situasjon:

For dagens situasjon vil det nedre taket ta en kritisk horisontallast på rundt 7 kN/m (700 kg/m). Dette vil i utgangspunktet ikke være en veldig stor last, men ettersom taket antagelig har gitt etter over tid, anses ikke innfesting utelukkende mot fyrhuset som tilstrekkelig.

Det er også blitt utført målinger for å kontrollere om ytterveggen til fyrhuset også har fått en helning utover mot vest siden den skjeve veggen lener seg på fyrhus taket som igjen gir en horisontalkraft mot endeveggen. I Figur 16 kommer det frem at denne endeveggen har en skjevhet i toppen av veggen og i de områdene hvor aktuell gavlvegg presser på fyrhustaket. Så her har det antagelig oppstått bevegelser over tid.



Figur 16: Målt loddavvik fra Klevfos Industrimuseum. Vest er retning ut fra bygget.

De estimerte indre kreftene i veggen tilsier også at veggens kapasitet er betraktelig overskredet både i topp av vegg, og i det nedre partiet mot pipen under fyrhustaket.

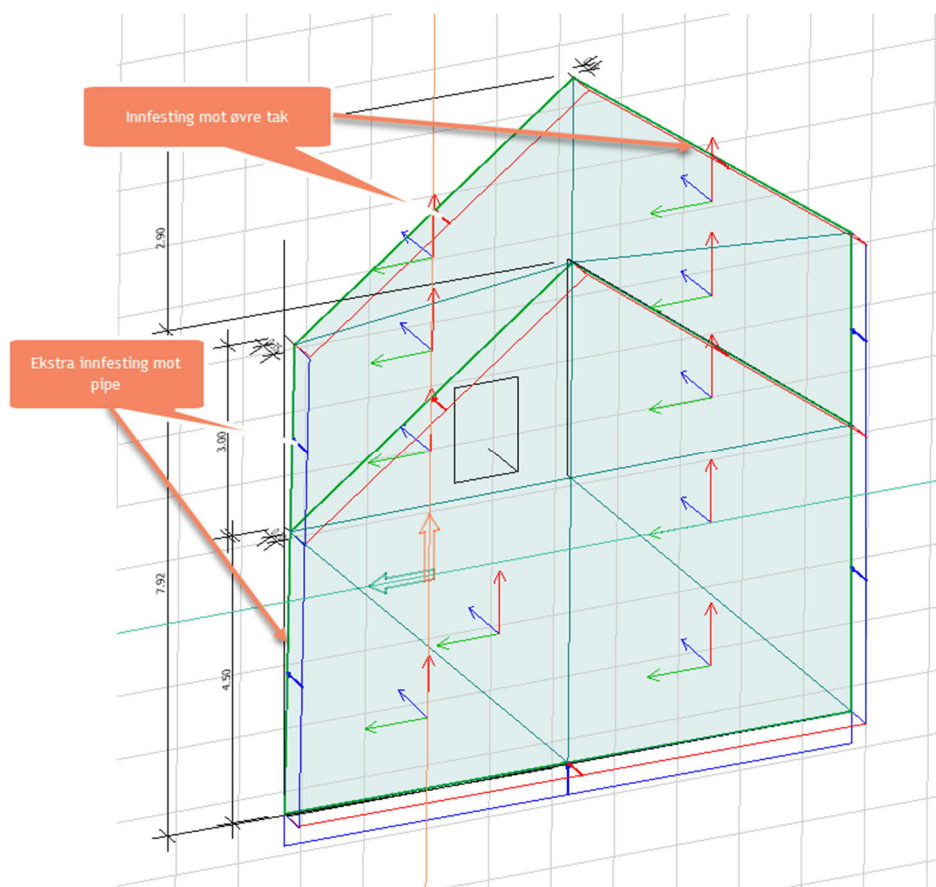
Basert på tilstanden til veggen i kjelleren vil det også bli behov for å gjøre utbedrende tiltak for å stoppe forvitringen av teglveggen og redusere eksentrisiteten som et resultat av det svekkede tverrsnittet på veggen.

3.4 Forslag til utbedringer

For å stoppe videre deformasjon i veggen vurderes det som kritisk å utføre en rekke stabiliserende tiltak.

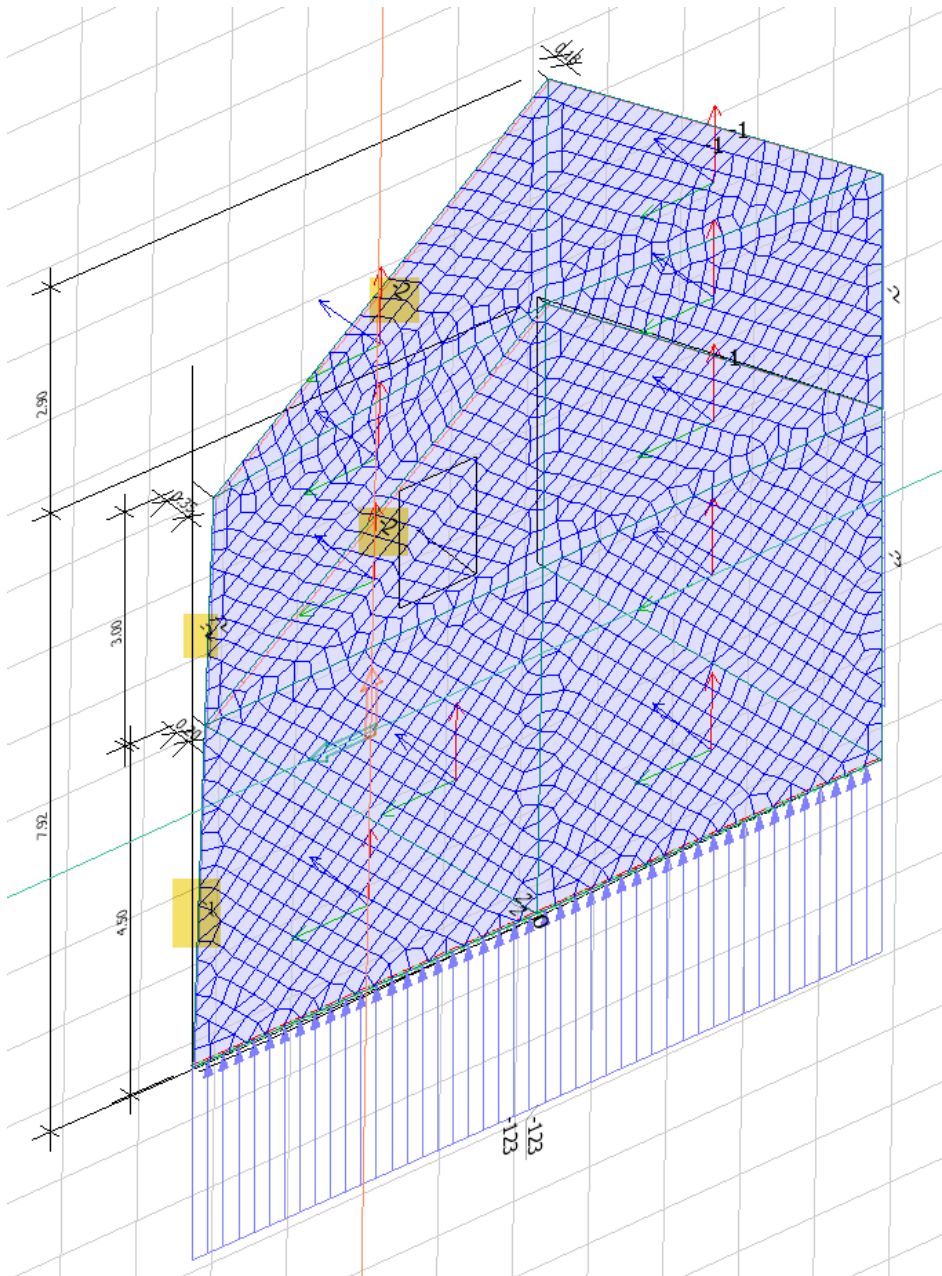
Ideelt burde veggen også skyves tilbake, for å redusere veggens eksentrisitet. Dette anses derimot som et relativt omfattende og kostbart tiltak. Det velges derfor å vurdere om det kan utføres stabiliserende tiltak som tillater at veggens skjevstilling beholdes.

Basert på svakheter påpekt i forrige kapittel anbefales det å feste veggen i topp mot eksisterende tak, samt at veggen burde festes mot pipen vertikalt.



Figur 17: Forslag til stabiliserende tiltak for veggen.

3.4.1 Oppleggslaster

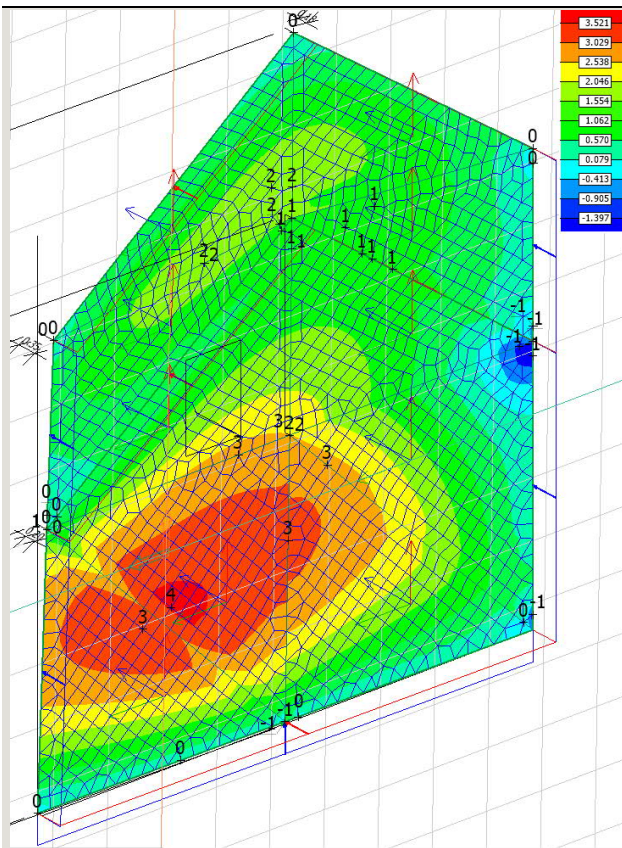


Figur 18: Nye kritiske oppleggslaster med stabiliserende tiltak.

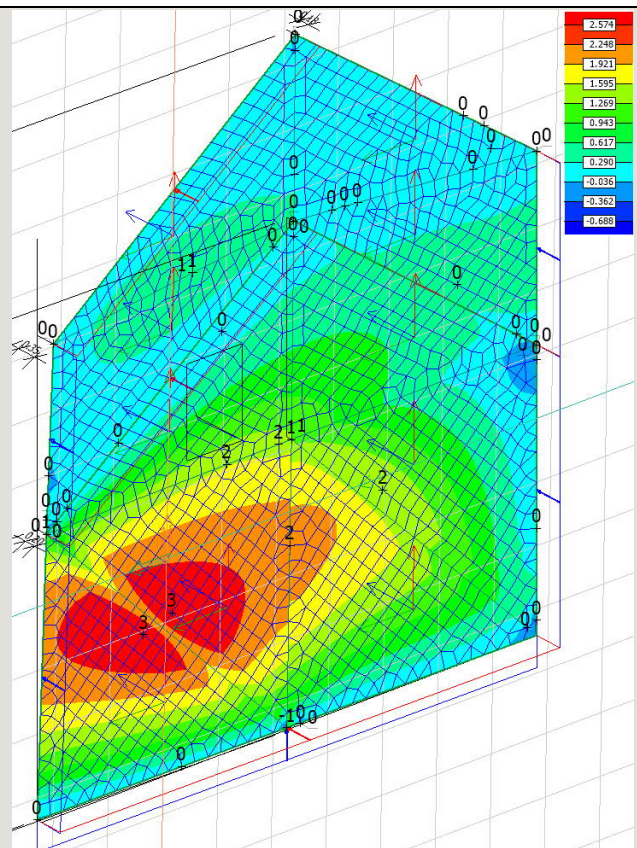
For den nye situasjonen er linjelasten mot det nedre taket redusert fra 7 kN/m til 2 kN/m som vist i Figur 18. For innfestningen i topp blir det nødvendig å feste vegg for en linjelast på 2 kN/m. Det samme blir gjeldende for innfestningen mot pipen.

Ettersom det er snakk om relativt lave laster, vil dette potensielt kunne utføres uten ekstra forsterkning av taket i luthuset.

3.4.2 Estimerte krefter (momenter) i vegg:



Figur 19: Kritisk vertikalt moment for lasttilfelle ULS_1



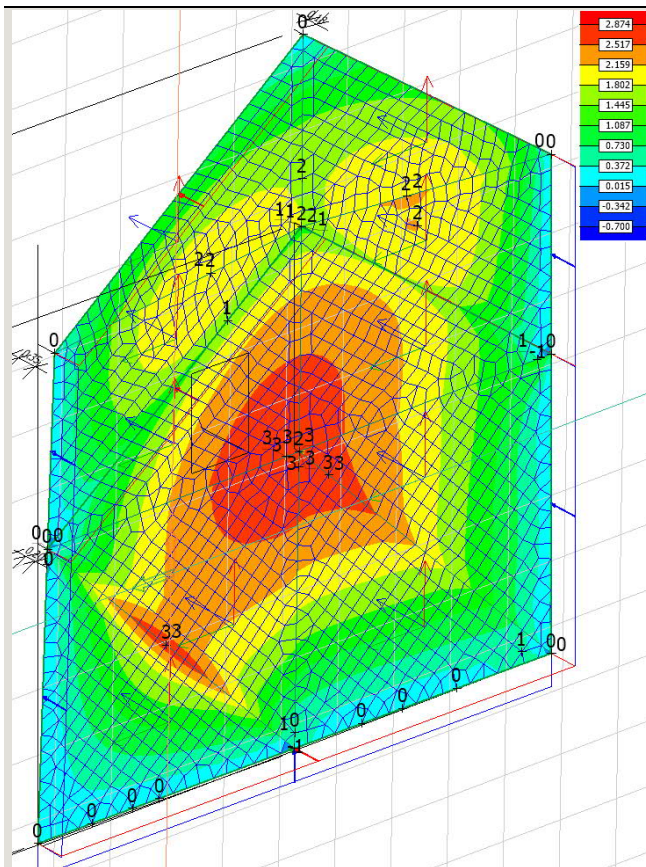
Figur 20: Kritisk vertikalt moment for lasttilefell ULS_2

Innspenning av utkraget vegg over nedre tak:

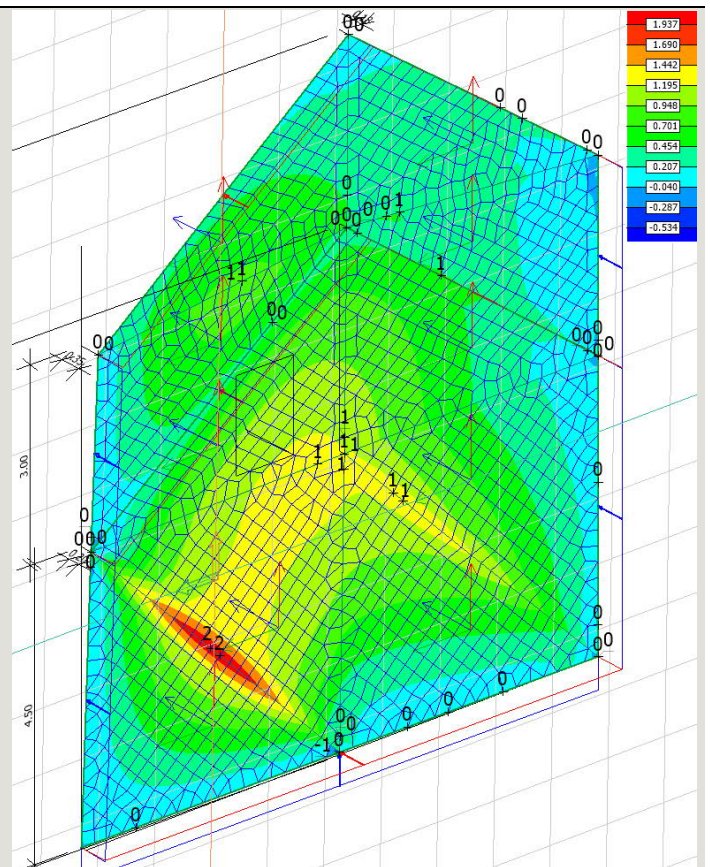
Fra Figur 19 estimeres det at kritisk moment kan reduseres til ca. 1.8 kNm i topp over taket i fyrhuset. Dette gir en utnyttelse på rundt 100% for ny situasjon med en estimert momentkapasitet på 1.8 kNm for dette området.

Kritisk vertikalt moment i nedre del av vegg mot pipe:

For den nedre delen av veggen er det estimert at tiltak vil kunne redusere kritisk moment til ca. 3.5 kNm for den nedre delen av veggen som vist i Figur 20. Dette gir en utnyttelse på ca. 90% med en estimert kapasitet på rundt 3.9 kNm for dette området.



Figur 21: Kritisk vertikalt moment for lasttilfelle ULS_1



Figur 22: Kritisk vertikalt moment for lasttilfelle ULS_2

Kritisk moment i nedre del av vegg mot pipe:

For foreslått utbedret situasjon vil kritisk horisontalmoment være rundt 2.8 kNm, med en estimert kapasitet på rundt 4 kNm for dette området. Vertikalmoment vil dermed ikke være et problem for ny situasjon.

3.4.3 Konklusjon utbedring:

Nye oppleggslaster:

Beregninger tilsier at foreslåtte tiltak vil redusere kraften mot det nedre taket betraktelig fra 7 kN/m til 2 kN/m for eksisterende tak. Lasten mot nye innfestinger vil også være rundt 2 kN/m. Dette vil være svært gunstig mtp. at man får omfordelt lastene til flere innfestinger enn dagens løsning.

Basert på erfaringstall vil det være mulig å etablere nye innfestinger i murveggen for å kunne ta opp disse lastene.

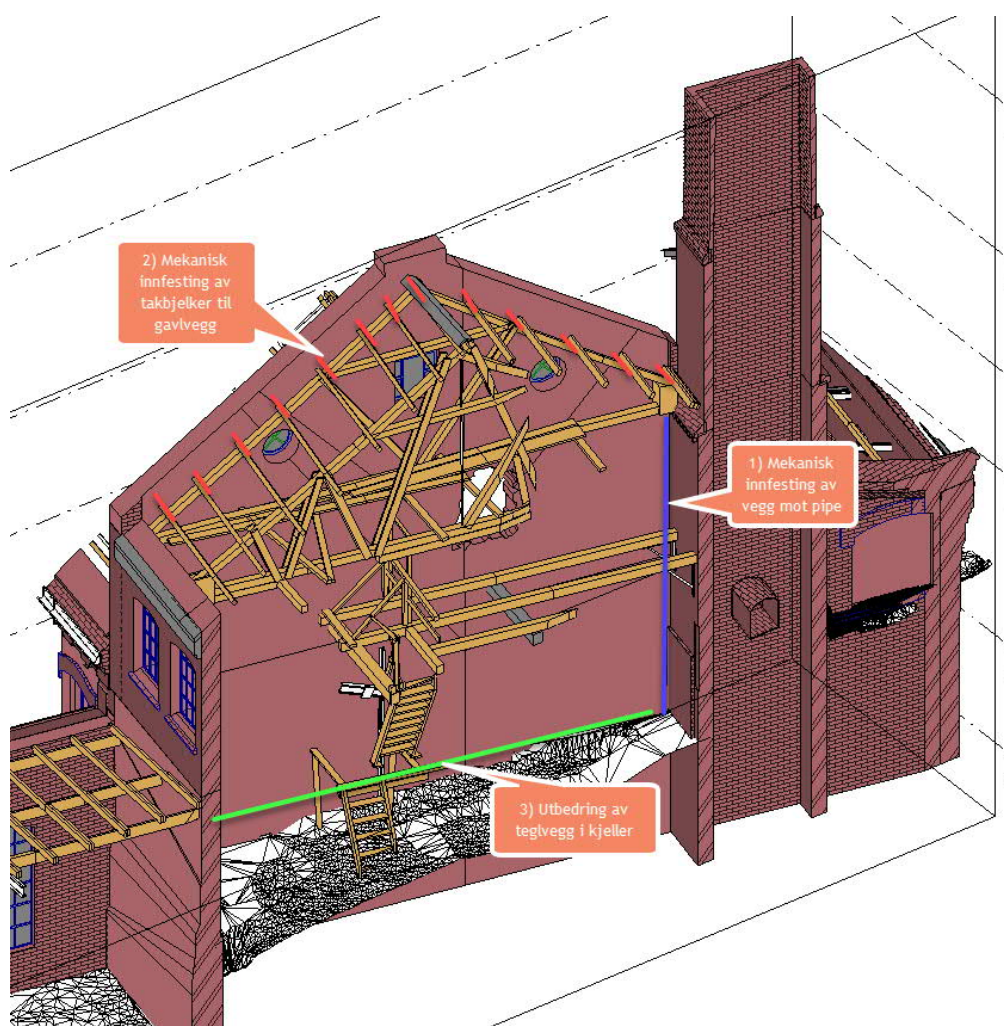
Estimerte krefter i vegg:

De estimerte indre kreftene i veggens tilsier at foreslått ny løsning vil redusere de indre kreftene i veggens tilstrekkelig til å overholde veggens kapasitet, selv om utnyttelsen fortsatt vil være svært høy.

4 Konklusjon

Basert på befarings-, samt vurdering av gavlveggs tilstand og beregninger er det konkludert med at vegg slik den står i dag ikke har tilstrekkelig stabilitet, eller kapasitet til å motstå dimensjonerende laster iht. dagens standard. Dette gjelder både innfesting mot tak og veggens indre belastning.

Basert på dette er det foreslått en rekke anbefalte tiltak for å stabilisere vegg som angitt i Figur 23.



Figur 23: Foreslåtte stabiliserende tiltak

Dersom alle disse tiltakene gjennomføres tilsier beregninger at det ikke vil bli behov for å rette opp veggen. Beregninger viser derimot at veggen er nært et kritisk punkt mtp. eksentrisitet, siden målte utnyttelser av veggen viser seg å være svært høy selv med de foreslåtte stabiliserende tiltakene.

Dersom tiltakene utsettes, og veggen ender opp med å bevege seg ytterligere vil man kunne risikere at veggen vil måtte rettes opp før stabiliserende tiltak vil kunne gjennomføres. Dette vil trolig bli en betraktelig mer omfattende prosess en foreslåtte tiltak i denne rapporten.

De foreslåtte tiltakene i denne rapporten forutsetter også at tak i fyrhus og luthus har tilstrekkelig stivhet til å overføre de horisontale lastene fra veggen. Basert på takets utforming vil det ikke være spesielt høy kapasitet i takene, men dersom lasten kan overføres jevnt inn i taket på en sikker måte vurderes takenes stivhet som tilstrekkelig ettersom det er snakk om relativt små laster. Det vil også bli en betraktelig mer omfattende forsterknings-prosess dersom takene skal forsterkes for disse lastene.

Dersom det velges å utføre foreslåtte tiltak er det viktig at veggen stabiliseres iht. pkt. 1 og 2 vist i Figur 23 før man begynner med reparasjon av teglvegg i kjelleren på luthus siden. Prosedyre og prinsipp for utførelse av foreslåtte tiltak vil måtte detaljprosjekteres.

Together with our clients
and the collective
knowledge of our 18,500
architects, engineers and
other specialists, we co-
create solutions that
address urbanisation,
capture the power of
digitalisation, and make our
societies more sustainable.

Sweco – Transforming
society together