
RAPPORT

Historisk museum – Setningsskader

OPPDRAKSGIVER
Universitetet i Oslo

EMNE
Vurdering av setningsskader

DATO / REVISJON: 09. oktober 2023 / C

DOKUMENTKODE: 10210744-RIB-RAP-001



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

OPPDRAG	Historisk museum	DOKUMENTKODE	10210744-RIB-RAP-001
EMNE	Vurdering av setninger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Universitetet i Oslo	OPPDRAGSLEDER	Espen Halvorsen
KONTAKTPERSON	Jostein Eidsvåg	KONTROLLERT AV	Steinar Gresslien
KOPI	Byggeleder Robert Hallingfoss	ANSVARLIG ENHET	Multiconsult ASA
	Arkitekt Jon Nordberg		

SAMMENDRAG

Denne rapport oppsummerer erfaring og problemstilling tilknyttet setninger på Historisk Museum, ervervet over en periode på 4 år fra vedlikeholdstiltakene på klimaskjerm ble igangsatt høsten 2017.

Konklusjon/tiltak:

Vi er av den oppfatning at dersom påvist setningsutvikling for Historisk Museum får utvikle seg, vil dette kunne få store konsekvenser for bygget. Våre beregninger tilsier at dersom setningsutviklinger får fortsette med nye setninger, i størrelsesorden 50-60mm, vil dette kunne påføre uopprettelige skader på bygget. Høyst sannsynlig vil en betydelig del av skader på bygget, som nå har vært gjenstand for utbedring, kunne gjenoppstå.

Refundamentering:

Vi anbefaler på grunnlag av ovennevnte at bygget refundamenteres innen en tidsperiode på 5-10 år.

Refundamentering av en eksisterende bygning er svært omfattende kostnadsmessig, og valg av løsning vil kunne medføre en betydelig inngripen i kjellerarealer, som vil bli berørt av tiltakene. Valg av type refundamentering må derfor grundig vurderes av geoteknikk- og bygningsteknikk ekspertise.

Vi anbefaler at det ikke utføres noen form for jekking eller justering av høyder da dette høyst sannsynlig vil påføre bygget nye skader. En refundamentering vil derimot stabilisere bygget og sørge for at setninger opphører.

Nationaltheatret i Oslo ble i sin tid refundamentert i forbindelse med etablering av tog- og T-banestasjonen. Bygget var på den tiden preget av omfattende setninger, og det ble valgt å refundamentere bygningen med peler til fjell. I likhet med Historisk museum, som begge er tegnet av Arkitekt Bull og oppført rundt 1900, har begge byggene en tilnærmet lik konstruksjon med fundamentering i form av svevende trepeler under en overliggende betongplate. Som følge av ovennevnte anbefaler vi at det gjennomføres en erfaringsoverføring fra utført refundamentering av Nasjonalteatret i tilknytning til prosjektering av refundamentering av Historisk museum. Begge byggene ligger ihht Oslo Kommunes geotekniske kartløsning, i et område med høy risiko for setninger.

Årsak til setninger på Historisk museum er ikke avklart, men kan skyldes forhold som senkning av grunnvannstanden, at grunnen har dårlig bæreevne eller ujevn dybde til fjell. Dette bør vurderes i sammenheng med utførte og pågående byggevirkosomhet i området.

Kontroll av grunnvann – Poretrykksmålere:

Vi anbefaler også at det omgående etableres flere poretrykksmålere (Piezometer) rundt Historisk museum, som kan overvåke grunnvannsnivået rundt bygningen. Grunnvannsnivået er med på å bevare trepelene under platefundamentet for sopp- og råteskader. Trepelene er en vesentlig del av fundamentering av bygget og senkning av grunnvannet med råteskader på trepeler kan få store konsekvenser for bygningen.

Setningsmålinger – Nivellement

Vi anbefaler også at setningsforløpet på bygningen følges opp med kontrollmålinger med et periodisk intervall som kan holde setningsutviklingen under oppsikt. Vi anbefaler minst 4 kvartalsvise utvendige nivelleringer og 1 -2 innvendig nivelleringer i året.

Alle målinger må protokollføres i en felles tabell slik at målinger pr punkt kan sammenlignes og avvik enkelt avleses.

A	25.06.21	Vurdering av setningsskader	Espen Halvorsen	Steinar Gresslien	Espen Halvorsen
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Monumentalbygget, i art nouveau stil, er et formålsbygg, som fortsatt brukes til sitt opprinnelige formål; tegnet med utstillingssaler for universitetets kulturhistoriske samlinger. Fredning av bygget omfatter bygningens eksteriør og interiøret og formålet med fredningen er å bevare Historisk museum fra 1902, som en bygning av høy arkitektonisk og kulturhistorisk verdi.

Utførte antikvarisk vedlikeholdstiltak på bygningen, i perioden 2017-2022 er utført i nært samarbeid med Riksantikvaren, og omfatter utbedring av båndtekkede takflater i kobber og rehabilitering av fasader bestående av murt tegl, naturstein og sokkel av granitt. Vinduer er antikvarisk rehabilitert og det pågår nå etablering av nye varevinduer i stål på innside av opprinnelige trevinduer. I tillegg er det fulgt opp innvendige arbeider på overflater tilknyttet restaurering av utstillingssaler med tilstøtende rom.

Som følge av ovennevnte vedlikeholdstiltak, er det ervervet kunnskap om bygningen basert på Byarkivets lagrede tegninger og dokumenter, utførte tilstandsvurderinger og oppmålinger samt feil og mangler som er avdekket under produksjon. Bygningen har vært gjenstand for en nøyaktig oppmåling med en digital punktsky-modell samt utførte setningsmålinger både før og etter tiltaket. I tillegg er utførte setningsmålinger sammenlignet og vurdert opp mot tidligere utførte målinger i perioden 1996-2000, som følge av byggearbeider på Nasjonalteateret stasjon. Det er i 2022-23 blitt gjennomført 2 innvendig nivellering av gulvflaten i hele 1.etg, som gir et bedre visuelt bilde av setningsforløp for de ulike bygningsdelene og hvilke konsekvenser dette får for bygningen

Utførte målinger viser at bygningen har fra tidligere omfattende setninger hvor det sydvestre hjørnet, som vender mot slottet har setninger i størrelsesorden opp mot 500mm. Bygget synker jevnt ned i massene mot Kristian Augusts gate og Tullinløkka. Høydeforskjell er på 5 cm fra vest til øst. Nyere setningsmålinger viser at det nordvestre hjørnet nå har de største pågående setningene. Dette vil si at vridningen diagonalt over bunnplaten er under utvikling og blir stadig større. Det er blitt foretatt punktgraving for kontroll av grunnvannsnivå og tilstand på trepeler.

Rent visuelt kan skadebildet for murte konstruksjoner virke begrenset. Kalkmørtel er relativt elastisk og har dermed en betydelig evne til å følge bevegelser i murverket uten at det oppstår sprekker. Bygningen er oppført uten elastiske fuger og skader kan sees som riss- og sprekkdannelse i teglfasadens svake områder, som i overgangene mellom de ulike skipene og i forbindelse med vinduer. Hjertevegg fungerer som en avstivende skive gjennom bygget, men sprekker opp over døråpning mellom utstillingssaler. Over hver dør kan en se sprek- og rissdannelse.

Bevegelser i bygget kan sees som knusningsskader og riss på gul fasadetegl i utsatte områder. Åpninger for vinduer medfører en svekkelse av konstruksjonen hvorpå vindusutsparinger blir en naturlig rissanviser i fasade. Vridning og setning på platefundament har medført oppsprekking i kilbuer over vinduer. Kilbuer fordeler last fra overliggende murverk og gjennomgående bruddskader på kilbuer kan medføre deformasjoner og skader på både vinduer og yttervegg.

Setninger og deformasjoner rundt vinduer påfører sandsteinsomramning betydelige skader. Sammenføyning, av tilskårede og rikt detaljerte sandsteinsblokker, er utført med dybler som i kombinasjon med forankring og innmuring i forbandt til murverk, gjør utbedringsarbeider på sandsteinsomramning svært utfordrende uten å påføre uopprettelige skader. Sandsteinsomramning, for vertikal vindusrekke mot begge sideskip, har betydelige deformasjoner og skader. Sandstein hviler her på vinduskarm og har medført bruddskader på glass.

Vridning på bunnplate påfører bygget horisontale bevegelse, som på sikt kan få konsekvenser for etasjeskillere. Hvelvede Monièr-dekker, som er en tidlig form for armert betong, spenner inntil 4,4 m mellom parstilte stålbjelker. Ulike setning og vridning på fundamentplate medfører at bevegelser blir gradvis større opp gjennom bygget. Hvilke konsekvenser dette kan få for etasjeskillere, bør følges nøye opp.

Tilsvarende gjelder innbygde takkonstruksjoner på innredet del av loft. Store bevegelser her kan ødelegge hvelvinger og murte konstruksjoner.

Takkonstruksjonen har ulik akseinndeling i forhold til underliggende bærende murkonstruksjon. Last fra takkonstruksjonens belaster dermed stedvis kilbuer over vinduer. Oppstår en bruddskade på kilbuer, som belastes med et sperrebind fra tak, vil dette kunne få store konsekvenser for både yttervegg og takkonstruksjon.

-----|-----

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	HISTORISK MUSEUM - Byggeteknisk	6
1.1	Generelt om bygget	6
1.2	Grunnforhold	7
1.3	Grunnvannsnivå	10
1.4	Fundamentering	12
1.5	Drenering	14
1.6	Bæresystem	16
1.6.1	Bærevegger:.....	16
1.6.2	Yttervegger	17
1.6.3	Sandsteinsomramning	20
1.6.4	Etasjeskillere	22
1.6.5	Takkonstruksjon.....	23
2	Vurdering av skader.....	26
2.1	Setningsmålinger	26
2.1.1	Underlagsdokumenter:.....	26
2.1.2	Punktskymodell.....	26
2.1.3	Nivellement - Utvendig	27
2.1.4	Nivellement - Innvendig.....	28
2.2	Vurdering av skader	29
2.2.1	Yttervegger	29
2.2.2	Vindusåpninger	30
2.2.3	Innvendige bærevegger	32
3	Forslag til utbedring.....	33
3.1	Refundamentering:.....	33
3.2	Grunnvann - Kontrollmåling.....	34
3.3	Kontrollmålinger – Nivellement.....	35
4	Underlagsdokumenter - Rapporter og tegninger.....	36

1 HISTORISK MUSEUM - Byggeteknisk

1.1 Generelt om bygget

Historisk museum er oppført i perioden 1897 - 1902 etter tegninger av arkitekt Henrik Bull.

Monumentalbygget er i art nouveau stil, som er en betegnelse for stilbevegelsen i 1890-årene og de første årene etter 1900, som svarer til den tyske jugendstilen.

Henrik Bull hadde akkurat ferdigstilt Nationaltheatret i 1899 og overførte sine erfaringer herfra ved oppføringen av Historisk Museum. Nationaltheatret er en tilsvarende bygning med fasader hovedsakelig i gul maskintegl og granitt dog i en litt høystemt historisk blandingsstil/ barokk. Bull fullførte sin arkitektutdannelse i Tyskland og mye av materialer og løsninger er dermed inspirert fra tiden i Tyskland. Bull er kjent for å tegne gjerne alt av interiør til sine monumentalbygg, inklusive dørhåndtak, lamper, møbler og tepper og tegningsunderlag hentet fra Riksarkivet er omfattende og rikt detaljert.

Bygningen er et formålsbygg, som fortsatt brukes til sitt opprinnelige formål; tegnet med utstillingssaler for universitetets kulturhistoriske samlinger. Bygget består av 2 sideskip, 2 tverrskip og et sentrisk midtskip som inneholder hovedinngang med vestibule og trappeoppgang.

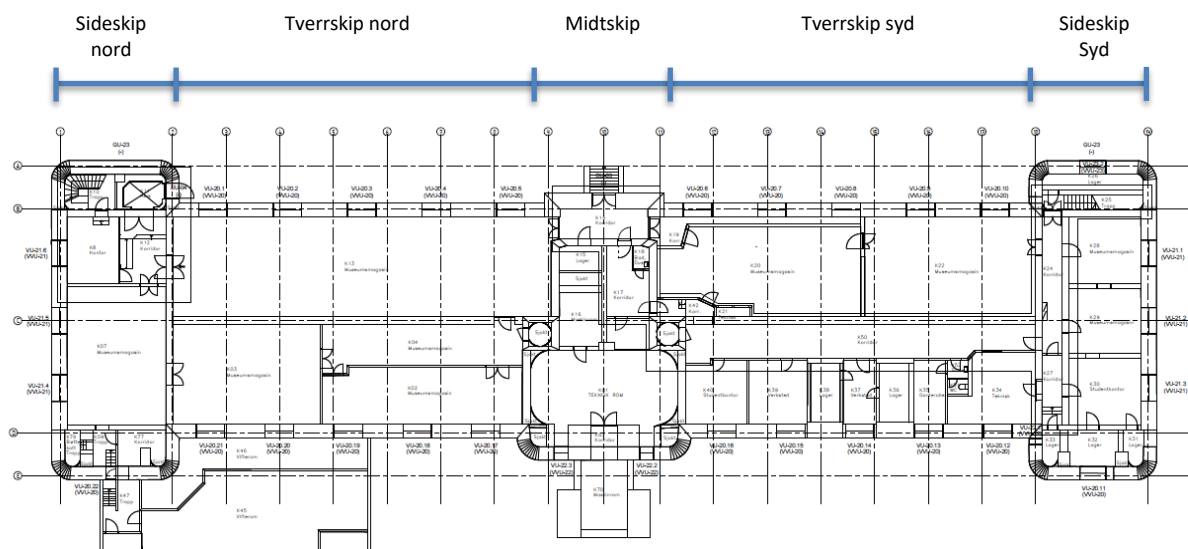
Byggets teglfasader er rikt dekorert hvor buede vinduer er utsmykkede med sandsteinsomramninger og ornamentering. Sokkel og deler av 1.etasje er utsmykket med granitt

Fredning av bygget omfatter bygningens eksteriør og interiøret. Fredningen inkluderer hovedelementer som konstruksjon, fasadekomposisjon, planløsning, materialbruk, overflatebehandling og bygningsdeler som vinduer, dører, geriker, listverk og detaljer som skilt og dekor m.v.

Formålet med fredningen er å bevare Historisk museum fra 1902, som en bygning av høy arkitektonisk og kulturhistorisk verdi, formålsbygd for Universitetets oldsaksamling. Fredningen skal også sikre hovedstrukturen i det arkitektoniske uttrykket og detaljeringen så som fasadeløsning, opprinnelige og eldre deler som dører og vinduer, samt materialbruk og overflater.

Bygget kan deles opp i 5 hoveddeler:

- Midtskip (med trappeoppgang)
- Tverrskip nord
- Tverrskip syd
- Endeskip nord
- Endeskip syd



1.2 Grunnforhold

Historisk museum er fundamentert på grunn av leire med varierende dybde ned til fjell.

Bygget og fundamentering, i form av en av en massiv betongplate, er gravd ned i en byggegrøp og omsluttet av høyereleiggende tilstøtende leire.

Ifølge informasjon, fra et foredrag avholdt av Arkitekt Henrik Bull, ble det gjennomførte grunnundersøkelser vinteren 1897-98. Da ble det gjort prøveboringer hvor kvalitet og bæreevne til leiren ble vurdert sammen med nedramming av flere jevnt fordelte prøvepæler samt kontrollmåling av avstand til fast fjell for hele byggegrøp. Undersøkelsene avdekket utfordringer knyttet til ujevn leirgrunn og varierende og stor dybde til fjell. Spesielt i den søndre delen som vender mot slottet, ble det avdekket redusert beskaffenhet for grunnforholdene.

Terrenget på tomten ligger i dag på ca kote 10 i det søndre hjørnet med en svak stigning nordover. Det er uklart med hensyn til det opprinnelige terrenget i området. Bislettbekken skal ha gått i en dal under Historisk museum og i retning syd-østover under midten av Nasjonalgalleriet for deretter å svinge sydover. I bekkedalen skal det derfor være opptil 4-5m fyllmasser. Bislettbekken går i dag i en kulvert under Kristian August gate og under Universitetsgaten.

Fjellkotekartet viser at det befinner seg en dyprenne i fjellet vest for Tullinløkka delvis under Historisk Museum. Nordre del av Historisk museum, mot Kristian August gate, ligger fjellet på kote 20 eller ca 32 meter under terreng. Midtre og sydvendt del av bygget har derimot en sterkt fallende fjellformasjon fra kote -5 til -30. I det sydøstre hjørnet ligger fjellet på kote minus 35 eller ca 47 meter under terreng. Fjellet stiger deretter østover til omkring kote minus 10 m under Tullinløkka og minus 3-5 meter ved Nasjonalgalleriet.

Se vedlegg:

Fjellprofil Snitt A-A, B-B og C-C under Historisk museum

Prøveserier og vingeboringer utført i 1963 viser at det i området mellom Historisk museum og Nasjonalgalleriet ligger et 2 meter tykt lag med fyllmasser av grus pukk og matjord øverst. Den gamle bekkedalen er antagelig fylt igjen med leire og fyllmassen er ca 4 m.

Under fyllmassene ligger det et 2-3 meter tykt lag meget fast tørrskorpe av leire og silt.

Videre ned til fjell eller til sand- og gruslag på fjell ligger det siltig leire.

Leirens skjærfasthet faller i og under tørrskorpen til 2.0 – 4.0t/m² omkring kote 5.

Skjærfastheten i de dypereleiggende lag er stort sett lavere og ligger på 1.0 – 3.0t/m².

Som vanlig i Oslo ligger det kvikkeleire eller meget sensitiv og bløt leire der det er grunt til fjell. Der det er dypt til fjell beholder leiren stort sett noe av sin fasthet i omrørt tilstand og den omrørte fastheten øker mot dypet slik at leiren må karakteriseres som moderat til lite sensitiv.

Ihht Oslo Kommunes geotekniske kartløsning, er Historisk Museum beliggende i et område med høy risiko for setninger.

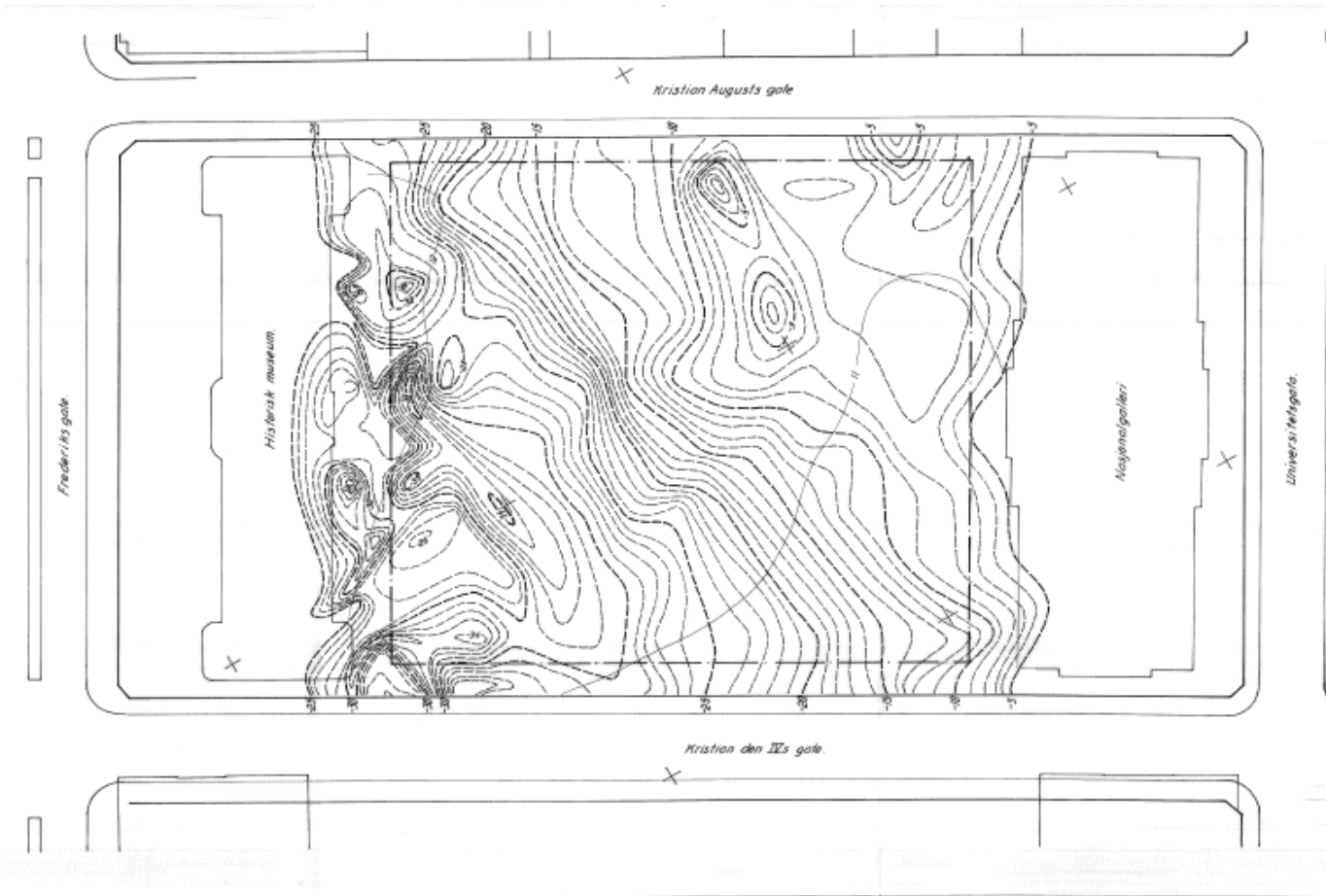


Fig. 2: Fjellkotekart med fjellkoter for Historisk museum og Tullinløkka mot Nasjonalgalleriet

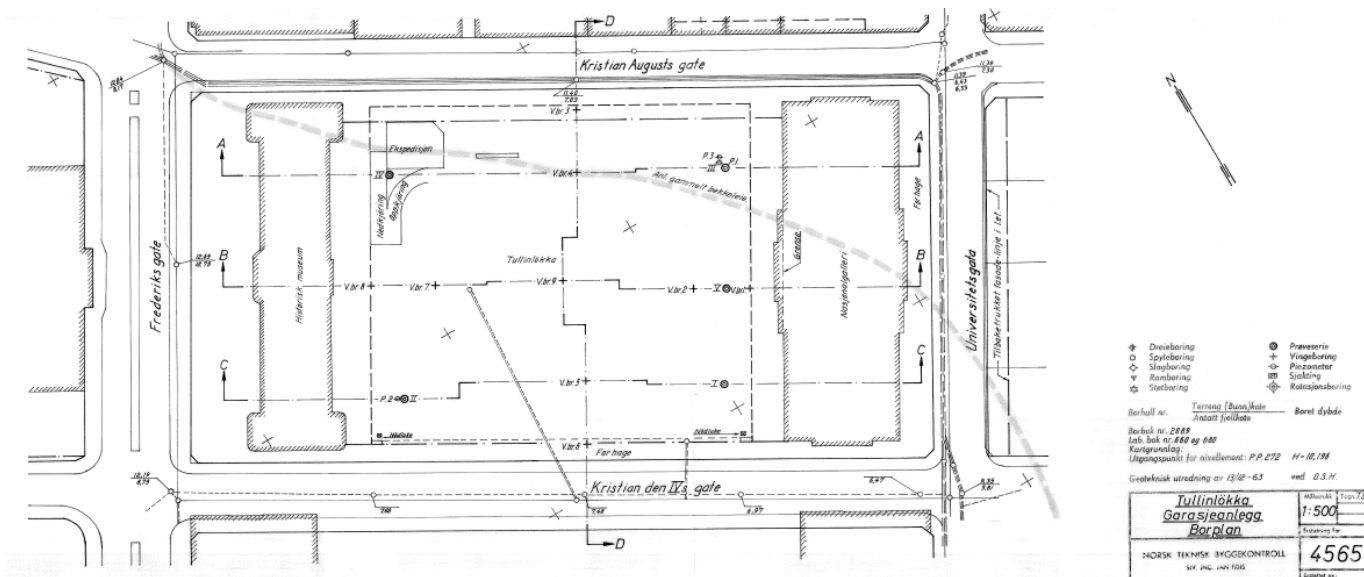
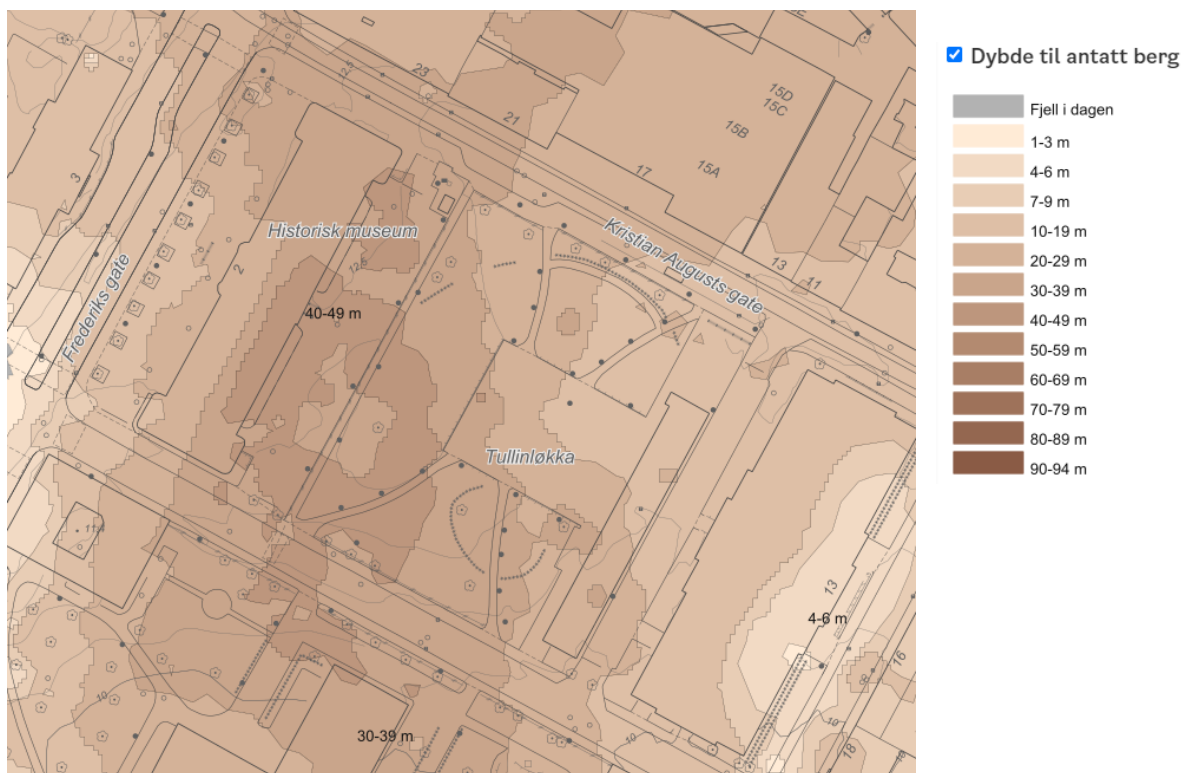
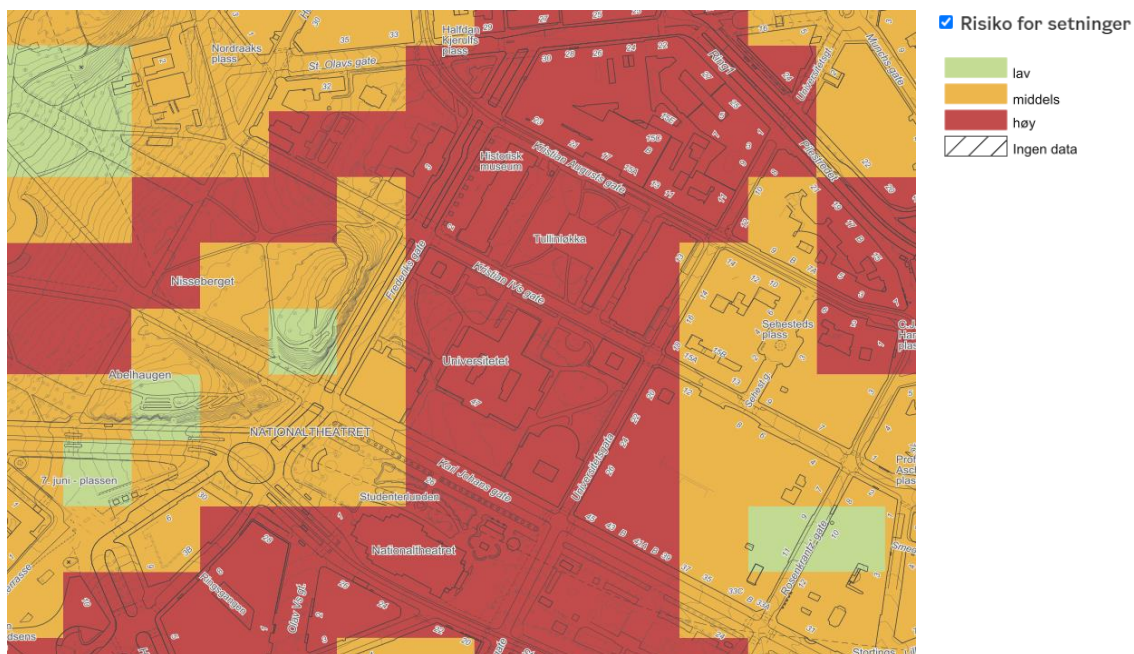


Fig. 3: Geoteknisk kart over Tullinløkka med bl.a antatt plassering av gamle Bislettbecken

Vurdering av setningskader



Kart fra Oslo Kommune som viser dybde til antatt berg.



Kart fra Oslo Kommune som viser områder hvor bygninger kan være utsatt for risiko for setninger.

Vurdering av setningsskader

1.3 Grunnvannsnivå

Grunnvannssenkning er en av hovedårsakene til setninger i bygninger. Grunnvannssenkingen gir økte spenninger i grunnen slik at kompressible jordlag presses sammen og bygningen setter seg.

Bygningen har 2500 trepeler under fundament, som er rammet ned i leiren under bygget. Trepelene i grunnen er avhengig av et stabilt grunnvannsnivå som er med på å bevare trekonstruksjoner. Ved en grunnvannsenkning vil fundamenter og øvre del av trepeler få tilgang til oksygen med påfølgende fare for råteskader.

Flere poretrykkmåler har over en lengere periode vært etablert i området. Vi har gjennom prosjektet fulgt ett Piezometeret, med beliggenhet rett utenfor Historisk museum mot Tullinløkka.

Poretrykkmåleren har vært aktivt siden 09.mai 2017 og siste måling ble foretatt med en avlesning 29.03.19. Kontroller av grunnvannsnivå viser i all hovedsak et stabilt grunnvannsnivå i området.

Det skal også være poretrykkmålere ved Nasjonalgalleriet, ved Treider i Kr. August gate 23 og ved St. Olavs gate 24.

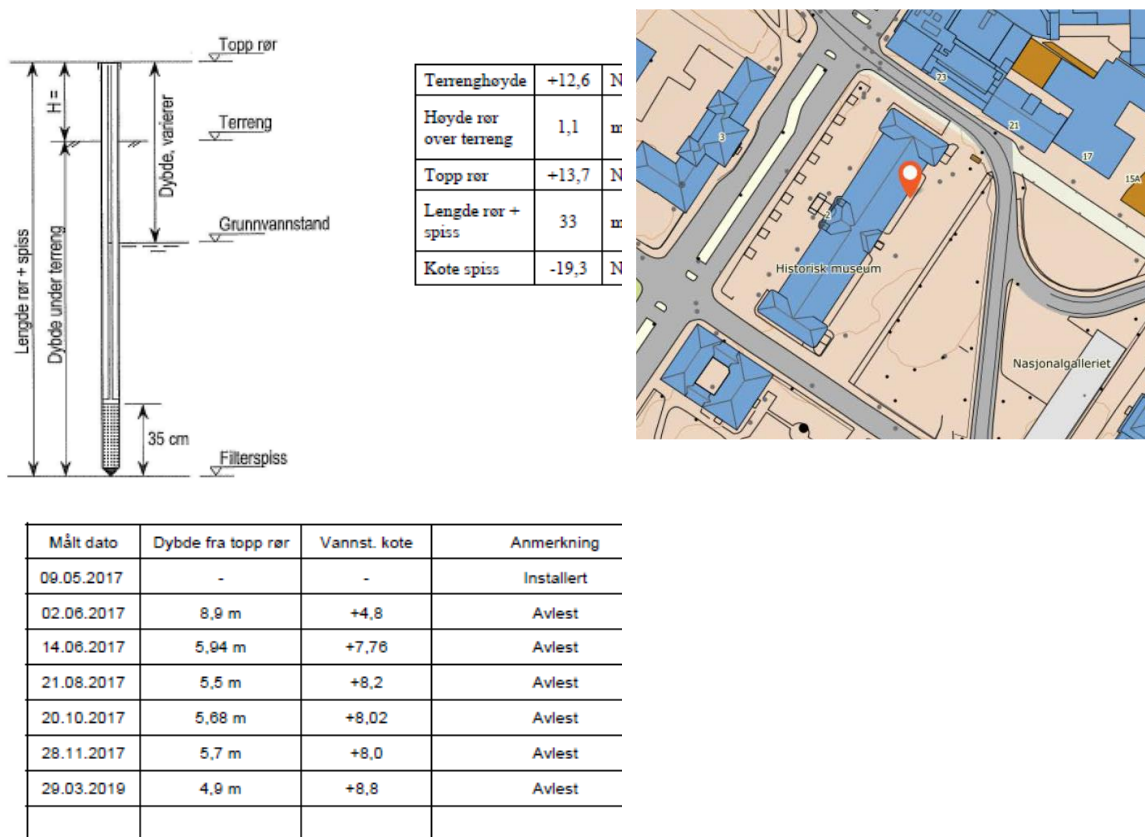


Fig 4: Poretrykkmåler utenfor Historisk museum mot Tullinløkka

Oppgraving viser at under fundamentplaten er det etablert et 20-30cm bærelag bestående av maskinkult bestående av sortering 50-300mm. Maskinkult skal være sandfylt og komprimert over urørt leire. Dette betyr at grunnvann kan bevege seg i kultlaget under fundamentplaten.

Ved punktgraving ble det avdekket at grunnvannet stod ca 40-50cm opp på fundament.

Drenering ble lokalisert til å ligge rett i underkant av overkant fundamentplaten.

Det ble forsøkt å pumpe ut vannet i prøvegropp uten ønsket effekt. Stadig tilsig av grunnvann hadde ingen ønsket effekt på en lokal nivåsenking av vannet i prøvegropp. Pumping av vann ble avsluttet da mye tyder på at oppsamlet vann i pukklaget på denne måte ble drenert ut.

Mye tyder på at grunnvannet er stillestående og oksygenfattig og det ville være u hensiktsmessig samt uheldig å pumpe ut dette vannet da det har en konserveringseffekt på peler under fundamentet.

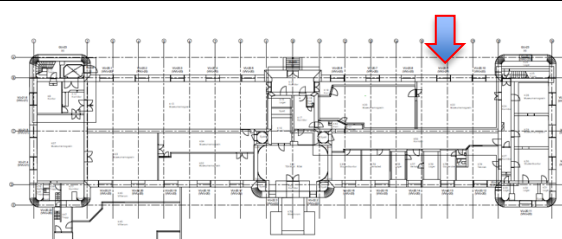
Vurdering av setningsskader

Fundamentet ble undergrav ca 1,5 meter under UK fundament hvorpå det ble forsøkt å grave seg inn til peler. Omfang av grunnvann og stedlige forhold vanskeliggjorde dette arbeidet. Det ble gravd frem til en pel hvor det ble tatt ut en bit av trevirket som ble visuelt undersøkt. Trevirket stammer høyst sannsynlig fra øvre del av en av pelene under fundamentet. Tilstanden på trevirket fremstår som vasstrukket og infiltrert med finkornet leirmasser uten nevneverdige fukt- eller råteskader. Grunnvann og leire har høyst sannsynlig vært med på å konservere trepelene uten at disse har blitt påført nedbrytning og redusert effekt.

Vi har som følge av ovennevnte utfordringer med høyt grunnvannsnivå ikke klart å avdekke om det eksisterer hulrom eller lommer under betongfundamentet, som følge av setninger eller endret grunnvannsnivå. Det er heller ikke avdekket om det eksisterer andre skader på tømmerpæler andre steder under bygget. Har øvre del av tømmerstokker kommet over grunnvannsnivå kan dette medføre fare for forråtnelse med redusert bærekapasitet for platefundament med tilhørende setninger og skader for bygget.



Bilde nr 1: Punktgraving 10.09.20 for kontroll av fundament og trepeler og høyde på grunnvannsnivå



Plassering av prøvegraving

Plassering av drensledning

1.4 Fundamentering

Som følge av at det ved oppføring av bygget, ble avdekket utfordringer knyttet til ujevn leirgrunn og varierende og stor dybde til fjell, ble det valgt av Arkitekt Henrik Bull å benytte friksjonsspeler av tømmerstokker. Disse ble nedrammet ca 10m ned i leire, hvorpå ingen oppgis å rekke ned til fjell, i alt 2500 peler.

Som underlag for et massivt betongfundament, ble grunnen forsterket med et bærelag bestående av 20cm komprimert kultlag med et sandlag som ble omhyggelig spylt ned og komprimert over kultlaget.

Pelene har en diameter på ca 30cm og pelehodene stikker 10 til 12 cm opp over sandflaten hvorpå disse ble støpt inn i fundamentet.

Det ble lagt til grunn et grunntrykk på 0,81kg/cm².

Grunnundersøkelsene avdekket at grunnen under det sydvestre hjørne (vendt mot slottet) hadde en redusert beskaffenhet i forhold til resterende byggegropp og minst avstand til fjell (ca 15 meter). (Kvikkleire)

Dette resulterte i et økt antall peler, utvidet størrelse på fundament i omfang og økt armering med jernbaneskiner i dette området.

For å forhindre forskyvning av leirmasser mellom pelene ble det i tillegg etablert en spuntvegg av 6" firskåret tømmer for 3 av bygningens sider.

Det tok tid før armert betong eller jernbetong, som det ble kalt, fikk innpass i byggeriet i Norge. Kunnskapen og erfaringen om armering av betong var på dette tidspunktet i sin spede begynnelse og dermed begrenset, men man var klar over at betongen fikk større kapasitet ved å tilføre jern. Som Bull skriver ble armert betong kalt monier eller monjer, etter den franske gartneren Monier, som fant på å forsterke en cementmørtel med stål. Han forsto raskt at jern og cement forente seg og fikk stor styrke. Han fikk patent på metoden i 1867 og på jernbetong 1878.

Betongfundamentet, med en høyde på 1,2m, ble dermed hovedarmert med jevnt fordelt jernbaneskiner med senteravstand c/c 80cm.

Under alle yttervegger og bærende innervegger, er betongfundamentet forsterket med ytterligere 50cm betong i en total bredde på 2,0m som ble forsterket med ekstra lag med jernbaneskiner i øvre og nedre sjikt. Øvre sjikt består av 2stk langsgående jernbaneskiner med senteravstand 50cm.

Nedre sjikt består av 3stk langsgående jernbaneskiner med senteravstand på 35cm, over hovedarmeringen. Tilstand med kontroll av plassering med senteravstand for jernbaneskiner er ikke kontrollert og bør vurderes nærmere.

Gulvflatene ble forsterket med armering i form av stålstenger av rundstål med diameter på 48mm og 29mm i nett med senteravstand 40cm.

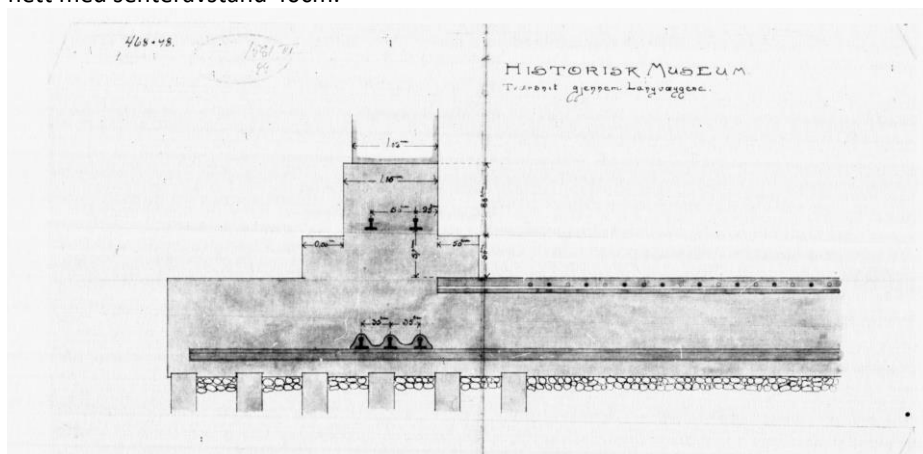


Fig 5: Snitt fundament under bærevegg

Slik det fremgår av tegningsunderlag antar vi at hovedarmeringen, i form av det nedre lag av jernbaneskiner, ble etablert på tvers av byggets lengderetning. Dette betyr at avstivning av dekket i lengderetning befinner seg under yttervegger og under midstilt hjertevegg. I og med at hovedarmeringen er på tvers av lengderetningen kan dermed stivheten på fundamentet i lengderetningen være noe underdimensjonert.

Vurdering av setningsskader

Da grunnundersøkelser av leiren i byggegrøp avdekket redusert beskaffenhet ble det valgt å øke bæreevnen til fundamentet ved å gjøre dette bredere enn bygget. Punkttoppgraving utført 10.09.20 bekreftet at fundamentet er 1,2 meter tykt og at fundamentet er bredere enn antatt og er ført 2,2m utenfor fotavtrykket av bygget.

Over den utstikkende delen av fundament, er det i ettertid etablert en skrå betongkonstruksjon med fall ut fra bygget. Dette er høyst sannsynlig utført i 1974 som et tiltak for å redusere vanninntrenging i kjeller. Overkant skråflate, med fall ut fra grunnmur, ble den gang fuktsikret med knotteplast. Hensikten med denne er å lede vann bort ifra grunnmur og fundament ut til nye drenering som ble etablert tidlig på 70-tallet.

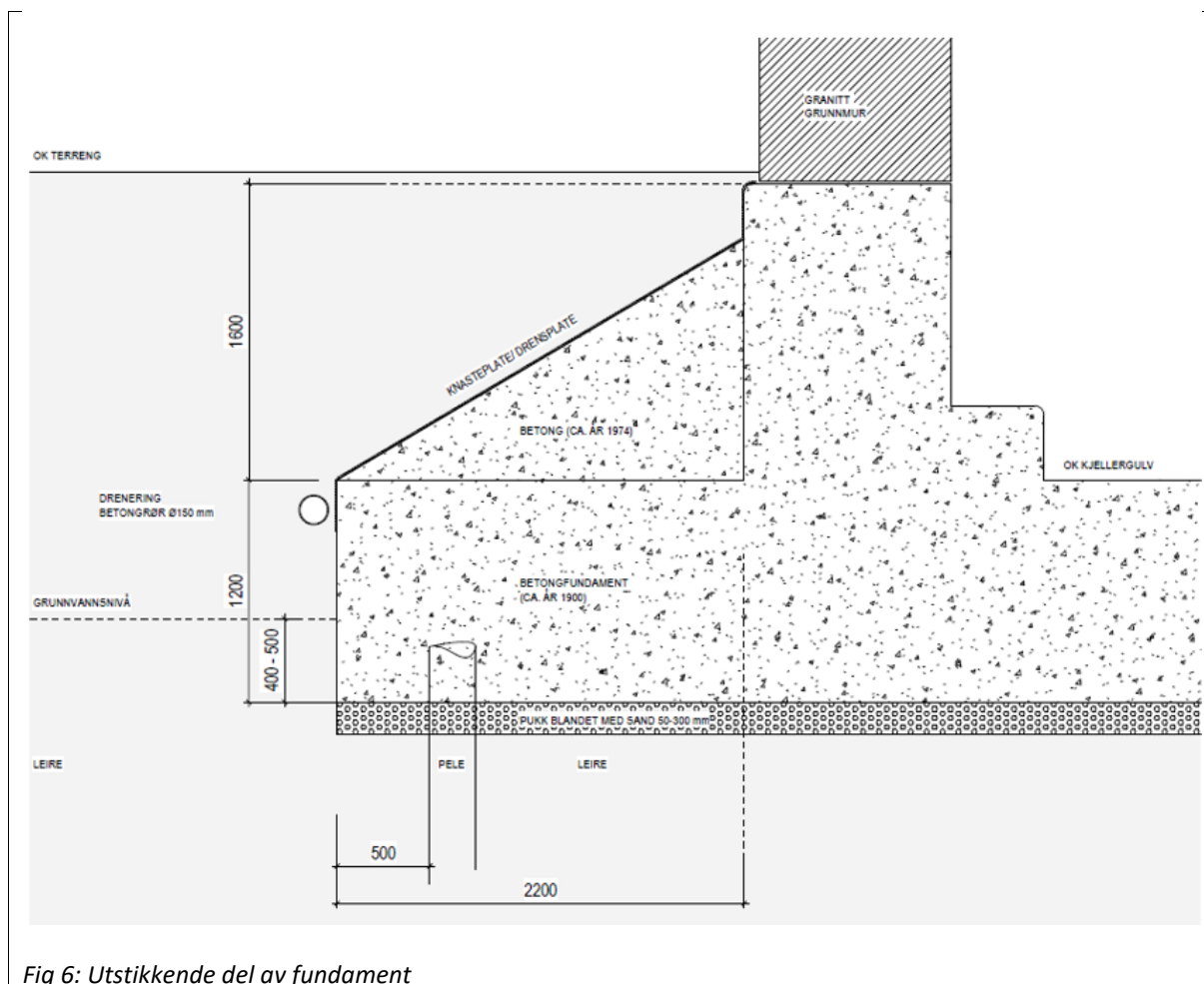


Fig 6: Utstikkende del av fundament

1.5 Drenering

Drenering av bygget er av varierende alder og kvalitet. Rundt bygget er det et titalls steinsatte originalkummer som er rasattsatte med behov for oppgradering. Fremside av bygget har en drenering fra 70-tallet i forbindelse med etablering av nytt teknisk rom under terreng foran hovedinngang. Tilsvarende gjelder drenering av østvendt langside mot Tullinløkka.

Drenering av fremside og hovedinngang, rundt teknisk rom under terreng, er kontrollert med TV-Videundersøkelse, hvor det er konstatert tilfredsstillende tilstand uten krav til rehabilitering.

Som følge av kontroll av fundamentering ble det gjennomført en punktgraving 10.09.20. Ved undergraving av fundament ble det avdekket at grunnvannet stod 40-50cm opp på fundament.

Drenering er etablert rett i underkant av overkant fundamentplaten dvs 0,5m over grunnvannsnivå.

Det er i løpet av det siste året blitt gjennomført flere tiltak på drenering som følge av fuktpåkjenninger i kjeller. Gavler, som er utstyrt med lysgraver, er nordvendt lysgrav mot Kristian Augusts gate utbedret med tanke på drenering og behandling og bortledning av takvann og overflatevann.

Kjellernedgang mot Tullinløkka er nedfelt sluk utbedret og koblet sammen med rørrehabilitert avløpsrør fra bygget og ut til drengeskum.

Fuktinntrenging i kjeller ved heis er fortsatt uavklart.

Tiltak:

Vi anbefaler også at det omgående etableres flere poretrykksmålere (Piezometer) rundt bygningen, som kan overvåke grunnvannsnivået rundt Historisk museum. Grunnvannsnivået er med på å bevare trepelene under platefundamentet for sopp- og råteskader. Trepelene er en vesentlig del av fundamentering av bygget og senkning av grunnvannet kan få store konsekvenser for bygningen.

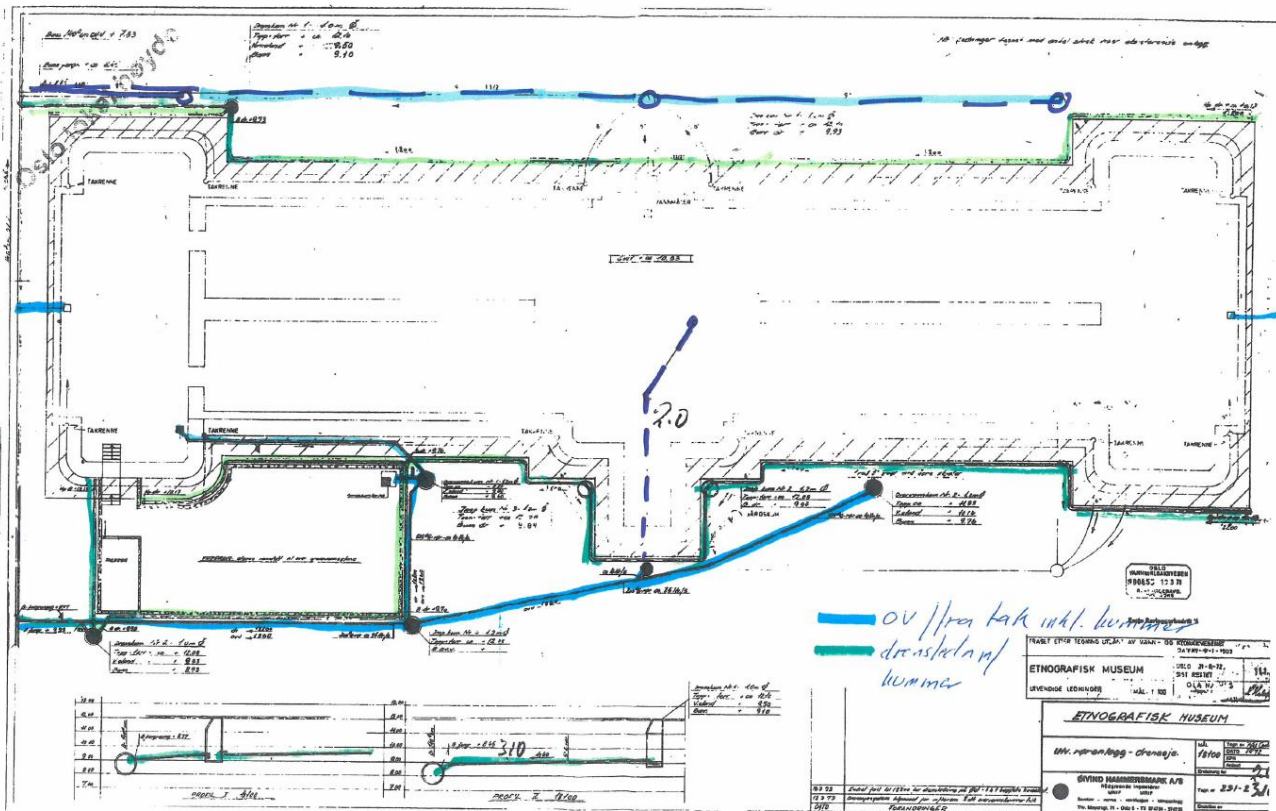


Fig 7: Tegning over plassering av drensledninger fra 1973

1.6 Bæresystem

1.6.1 Bærevegger:

Bygget er oppført i massiv murverk over 3 etasjer med kjeller og loft.

Innvendige bærevegger med midtstilt langsgående hjertevegg, er oppført i massiv murvegg av tegl.

I tillegg er det tverrstilte innvendig bærevegger som ivaretar byggets horisontalavstivning og som danner skille mellom byggets hoveddeler.

Innvendige bærevegger i kjeller har en bredde på ca 1,16m og er plassert på utvidede og førhøyede langsgående fundament for å fordele vekt fra bærevegg utover platefundament på grunn.

Hjertevegger bærer lasten fra etasjeskillere i form av tverrgående stålbejler som spenner mellom yttervegg og hjertevegg. Hjertevegger fungerer som tilnærmet stive skiver gjennom byggets lengderetninger. Opp igjennom etasjene er veggene enten hele eller det er etablert utsparring for innerdør. Dørene reduserer stivheten på veggene og felt over dører kan en se riss- og sprekkdannelser som kan indikerer setninger og deformasjon på bygget.

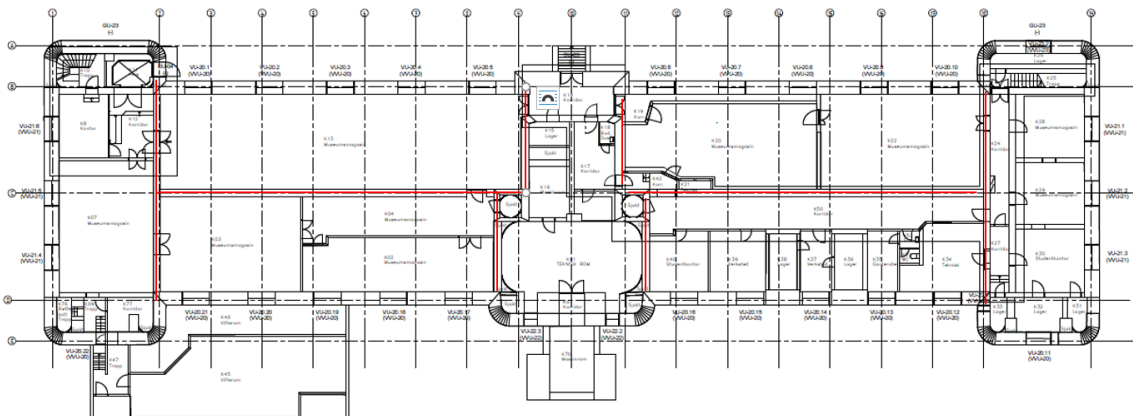


Fig. 9: Plassering av innvendige Bærevegger

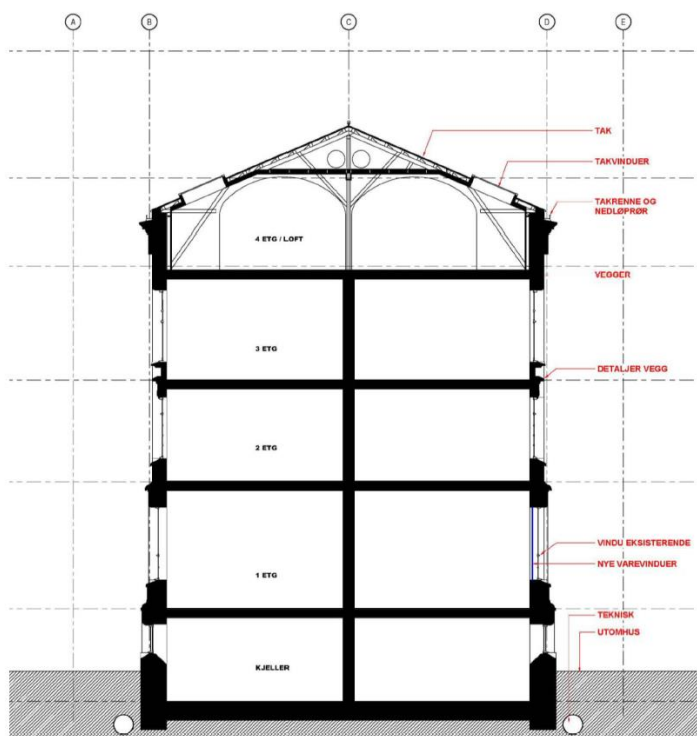


Fig 10: Snitt med etasjeskillere og sentrisk plassert hjertevegg

Vurdering av setningsskader

1.6.2 Yttervegger

Fasaden er bygd opp som følgende:

Sokkeletasje er bygd av hugget lys grå granitt (Iddefjorden granitt)

1 til 3 etasje er oppført som massiv murvegg, med eksponert lys gul hardbrent maskintegl.

1 etasjes vindusbunn – sålbenk er i samme hugget granitt.

Det er et gjennomløpende bånd i etasjeskiller mellom 1 og 2 etasje i samme hugget granitt.

Bygget er oppført i massive murvegger uten elastiske fuger i yttervegg. De ulike hoveddelene av bygget er sammenføyd via buede dekorative framskutt buede partier, risalitter, som er ført kontinuerlig gjennom hele bygningens høyde. Ytterveggene, er mellom bygningsdelene, sammenføyd med tverrstilte avstivende bærende vegger.

På tross av omfattende setninger på bygget er det påvist tilsynelatende få riss og sprekkdannelser i murverket. Skader er i all hovedsak begrenset til enkeltvis knusning og sprekkdannelser i teglsteiner, som er utsatt plassert i yttervegg.



Bilde nr 2:

Eks. på typisk riss i teglstein. Ved sydvendt trappeoppgang kan slike riss følges over flere skift i muren



Bilde nr 3:

Eks. på typisk knusningsskade på teglstein ned mot sokkel av granitt.

Årsak til at det ikke har oppstått nevneverdige visuelle riss og sprekkdannelse i murverket, kan skyldes at det er benyttet hydraulisk kalkmørtel i mørtelfugene. Kalkmørtel er relativt elastisk og har dermed en betydelig evne til å følge bevegelser i murverket uten at det oppstår sprekker. Kalkmørtel er dessuten meget diffusjonsåpen som er positivt med tanke på fuktansmisjon gjennom yttervegg. Spesielt med tanke på tilført høy relativ fuktighet i museets utstillingssaler via ventilasjonsanleggene.

Vindusåpninger:

Setningsskader i form av riss oppsprekking eller deformasjoner befinner seg derimot i forbindelse med vinduer. Åpninger for vinduer medfører en svekkelse av konstruksjonen hvor vindusutsparinger blir en naturlig rissanviser i fasade.

Vindusutsparinger har karakteristiske trykkbuer, som fordeler overliggende last fra fasade, tilside for vinduer. Historisk har forsterkninger over åpninger vært utført ved hjelp av buer i en rekke forskjellige former avhengig av bredde på åpningen, stilperiode osv. Kilbuer er benyttet over et flertall av vinduer som er buede.

Vurdering av setningsskader

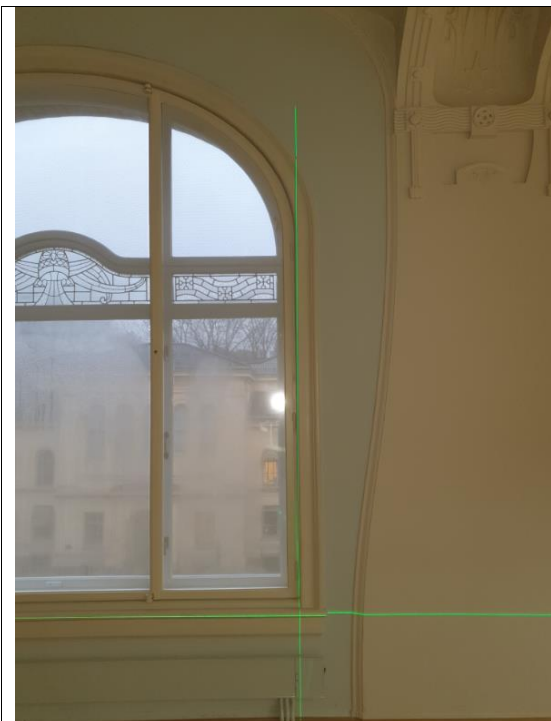
Murte kilbuer kan sees både på utvendig og på innvendig side av yttervegg. På innvendig side kan kilbuer observeres der hvor pussen er revet, som følge av riss og oppsprekking og pågående vedlikeholdstiltak.



Bilde 4: Trykkbuer over vinduer i teglfasade

Som følge av setninger på Historisk museum er bunnplaten bøyd ned mot det sydvestre hjørnet, som er byggets laveste punkt. Vridningen har medført at det har oppstått riss og sprekkdannelse over vinduer i kilbuen. Karakteristiske riss og sprekkdannelser befinner seg i all hovedsak i den første 1/3 delen over vinduer. Det vil si den delen som ligger lengst vekk i forhold til laveste punket på bygget. Riss kan for mange vinduer ses som skråstilte riss som følger mørtelfuger eller også har medført gjennomgående bruddskader på teglstein.

Setninger og skjevstilling på bygget, har medført at de store vinduene er 20-30mm ute av vater eller 10-15mm ute av lodd.



Bilde nr.5: Rom 332
Kontrollmåling av skjevstilling vindu med laser.
Målt 10mm ut av lodd.



Bilde nr 6: Rom 332
Kontrollmåling av skjevstilling vindu med laser.
Målt 28mm ut av vater

Vurdering av setningsskader



Bilde nr 7: Rom 114.
Kontrollmålt skjevstilling vindu med laser
Målt 12mm ut av lodd, 32mm ut av vater



Bilde nr 8: Rom 114
Riss- sprekkdannelse i 1/3 punktet over vindu.
Skade på trykkbue er tidligere utbedret.



Bilde nr 9: Skade over vindu Rom 332



Bilde 10: Rom 115
Skade på søyle mellom vinduer grunnet setninger

Vurdering av setningsskader

1.6.3 Sandsteinsomramning

Vinduer har i all hovedsak dekorative omramninger i sandstein, hentet fra steinbrudd i Obernkirschner i Tyskland. Vindusomramninger i 2 etasje og brystning i 3 etasje, samt ved trapperom i 2 etasje er utført i hugget sandstein. Til dels ornamentert.

Setninger og deformasjoner rundt vinduer har medført at omramning i sandstein stedvis er sprukket opp. Deformasjoner har medført at sandsteinen stedvis nå belaster vinduskonstruksjon. Dette kan sees spesielt for vinduer i tverrskip syd og endeskip syd, for fasade mot hovedinngang.

Sandsteinomramningen består av tilskårede blokker som er sammenføyet over hverandre med forankringer i form av dymlinger eller dybler i støpejern. Blokkene er lagt opp sjikt for sjikt og bakmurt med teglstein. Der det var mulig, er steinkledningen høyst sannsynlig murt i forband med bakenforliggende murverk. Der hvor forbandet ikke gav tilstrekkelig sammenbinding, er det høyst sannsynlig benyttet spesielle bindhaker med visse mellomrom eller ytterligere forsterket med kiler (avstandsholdere)

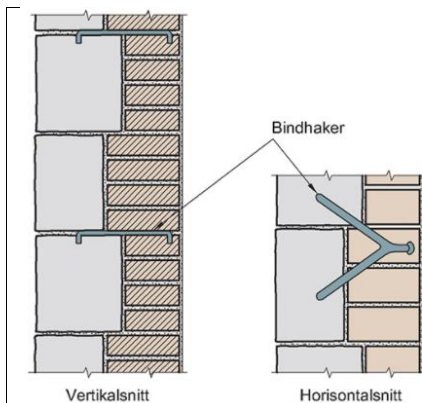


Fig. 11: Bakmuring i forband med sandsteinsomramning



Bilde nr 11: Plassering av dybler som sammenføyer sandsteins blokker. Korrosjon på dybler har sprengt ut del av sandstein

Utbedring av sandsteinsomramning har vist seg å være utfordrende da blokkene er sammenføyd med dybler og høyst sannsynlig bindhaker til bakenforliggende murverk. Omramninger er satt sammen som et prefabrikkert byggesett tilpasset vindusutsparing og montert samtidig med oppmuring av bakenforliggende teglsteinsvegg. Det vil dermed ikke være mulig og de- og re-montere sandsteinsomramning da denne er en del yttervegg. Punktvis utbedring vil ikke kunne utføres uten at tilstøtende blokker blir beskadiget grunnet forankring og sammenføyningen med dybler.

Bygget er verneverdig og det stilles dermed strenge krav fra vernebestemmelser om at det må tilstrebes å bevare mest mulig av den opprinnelige sandsteinomramningen.



Bilde nr 12 Deformasjon på sandsteinsomramning. Sandstein belaster direkte vinduskonstruksjon.



Bilde nr 13 Tydelige deformasjoner på sandsteinsomramning

Vurdering av setningskader

Opprinnelige vinduer

Vinduer er av høy kvalitet, men har vært under stor belastning med kondens som følge av tilført høy relativ fuktighet i museets utstillingslokaler samt utvendig påkjenning fra vær og vind.

Trevirket er av høy kvalitet fra tettvokst kjerneved av furu hvorpå harpiksinholdet er relativt høyt som gir trevirket stor motstand mot nedbrytning av sopp og insekter. Trevirket er spesielt utsortert med tanke på å unngå vridning o.l. ved fukt- og temperaturpåvirkning.

Glass er av type Tafelglass med sine karakteristisk uregelmessige reflekser eller brytning av lysstrålene.

Opprinnelige utvendige vinduer fremstår nå som antikvarisk rehabilitert som omfatter komplett innvendige og utvendige overflatebehandling med linolje med bl.a utskifting av deler med fukt og råteskadet trevirke.

Rammer er demontert og vedlikeholdt på verksted under kontrollerte former.

Det er lagt ned betydelige ressurser i vedlikeholdsarbeidet som kan betegnes som omfattende og i samråd med byantikvarens retningslinjer for antikvarisk vedlikehold.

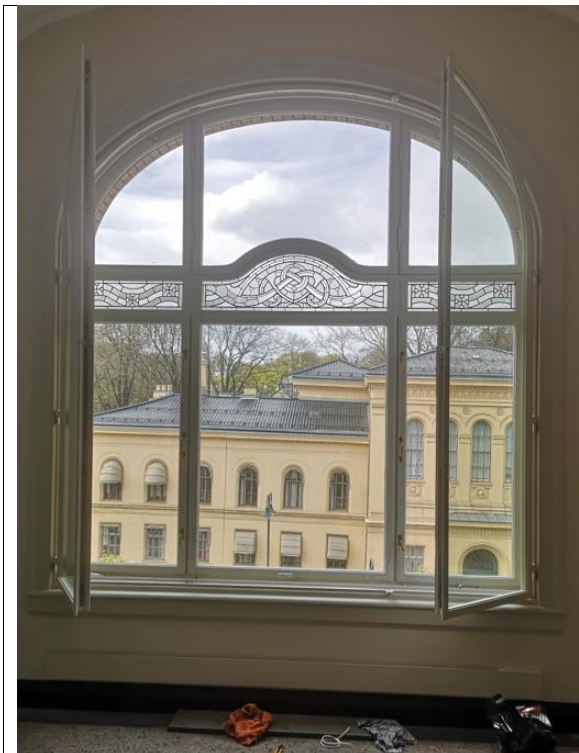
Nye varevinduer

Nye varevinduer er montert i løpet av 2019-21 for å ivareta museets krav til sikkerhet, U-verdi og solavskjerming for kunstgjenstander. I tillegg beskytter varevinduer de opprinnelige vinduene for nedfuktning da bevaring av museets gjenstander krever tilføring av høy relativ luftfuktighet.

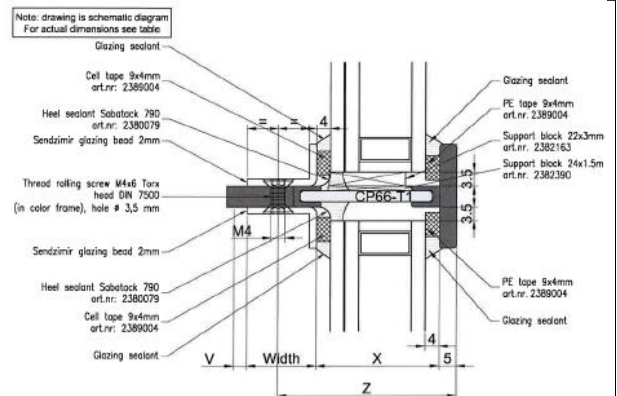
Varevinduer har slanke stålprofiler med pivot-hengsling, som er svært ømfintlige for skjevstillinger og er derfor individuelt tilpasset til hver enkelt vindusåpnings skjevstilling.

Skjevstillinger på vindusåpninger har medført betydelige utfordringer ved prosjektering og utforming av nye innvendige varevinduer med tilhørende betydelig kostnadskonsekvens.

Ytterligere setninger eller bevegelse på bygningen kan få store konsekvenser for funksjonalitet og skader på nye varevinduer da disse er svært følsomme for bevegelser og kan enkelt beskadiges ved deformasjoner.



Bilde nr 14: Nye varevinduer i rom 332



Bilde nr 15: Nye varevinduer i stål m pivot hengsling

1.6.4 Etasjeskillere

Ifølge dokumenter fra arkitekt H. Bull's foredrag om utforming av bygget, skal bygget være tilstrebet bygget med tanke på sikring mot brann. Samtlige etasjeskillere er derfor utformet som støpte buede dekker som spenner mellom stålbjelker. Det er med andre ord ingen trebjelkelag i museet.

Mellom stålbjelker er det i all hovedsak etablert armerte betongdekker med spenn opp til 4,4m. (Monierkonstruksjon, en tidlig form for armert betong).

I salene er spennet inntil 4,4 m mellom de parstilte bjelkene, hvelvet er svakt tønneformet, armert med et nett av stålstenger. Over Monierkappene er det fylt med lett tilslag, i form av koksslagg, som er påstøpt slaggbetong i 10 cm tykkelse.

Dekkene er spent opp mellom tverrliggende stålbjelker fra yttervegg til hjertevegg/innervegg, dels som flate dekker i kontorarealer mv., og som buete kappehvelv i saler og under hovedtrapp. Stålbjelkene er skjult bak puss.

Vridning på bunnplate påfører bygget horisontale bevegelse, som på sikt kan få konsekvenser for etasjeskillere. Ulike setning og vridning på fundamentplate medfører at bevegelser blir gradvis større opp gjennom bygget. Hvilke konsekvenser dette kan få for etasjeskillere er uklart, men bør holdes under oppsikt.

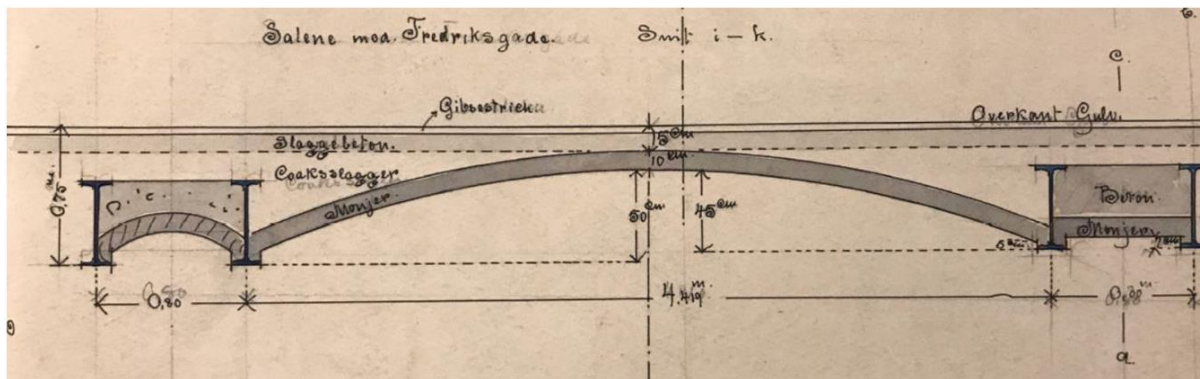
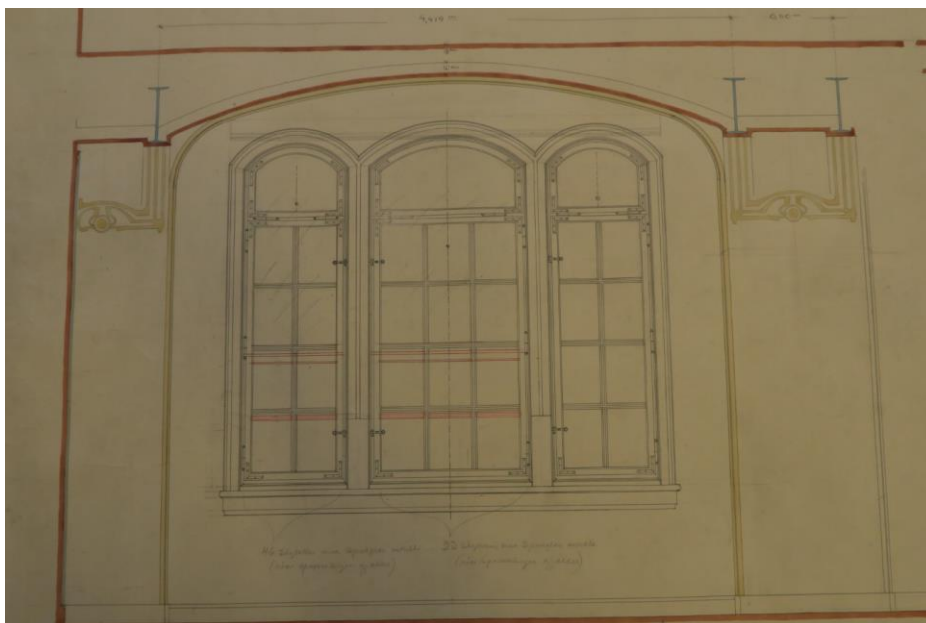


Fig nr 12: Hvelvede etasjeskillere av type Monier, armerte betongdekker med spenn opp til 4,4m



Bilde nr 16: Plassering av parvise ståldragere mellom vinduer

1.6.5 Takkonstruksjon

Takkonstruksjonen er en typisk trekonstruksjon fra slutten av 1800-tallet i form av sperrebind med knevegger for å skaffe bedre høyde i lofts-etasje og for å gi plass til utforming av gesimsen. For å hindre at kneveggen blir presset ut, er det benyttet en knebukk for å ta opp sidetrykket fra taket.

Takkonstruksjon består av tidstypisk åstak bestående av primærbæring av hovedbind med senteravstand på 4,1m. Over sperrer ligger horisontale langsgående åser med c/c ca 1,0m

Taktro er etablert over åser og panel under åser, dannet opprinnelig himling på loftet.

Sammenføyninger mellom åser og veksling er etablert uten mekaniske innfestinger eller tapp- eller forsatsforbindelser. Det er kun benyttet innfelte overganger med konede sammenføyninger.

Konede sammenføyning er basert på nødvendig friksjon til nødvendig understøttelse.

Løsningen krever nøyaktig måling og håndverksmessig kompetanse av byggmester kombinert med at åser er fastholdt uten mulighet for bevegelse. Takåser lagt oppå primærbæringen er kubbet fast med åsklosser som motvirker sideveis vridning.

Etablering av takvinduer ble utført som følge av etablering av kontorlokaler på loftet på 1930-tallet.

Underside av rabbitert himling ble senere på -70-tallet nedforet og isolert med 70mm mineralull og ny platekledning på underside av takkonstruksjon.

I forbindelse med innredning av loft ble synlig takkonstruksjonen kledd inn og pusset med buede hvelvinger mellom sperrebind.

Vridning på bunnplate påfører bygget horisontale bevegelse, som på sikt kan få konsekvenser for takkonstruksjon. Ulike setning og vridning på fundamentplate medfører at bevegelser blir gradvis større opp gjennom bygget. Store bevegelser her kan ødelegge hvelvinger og murte innbygging av takkonstruksjonen.

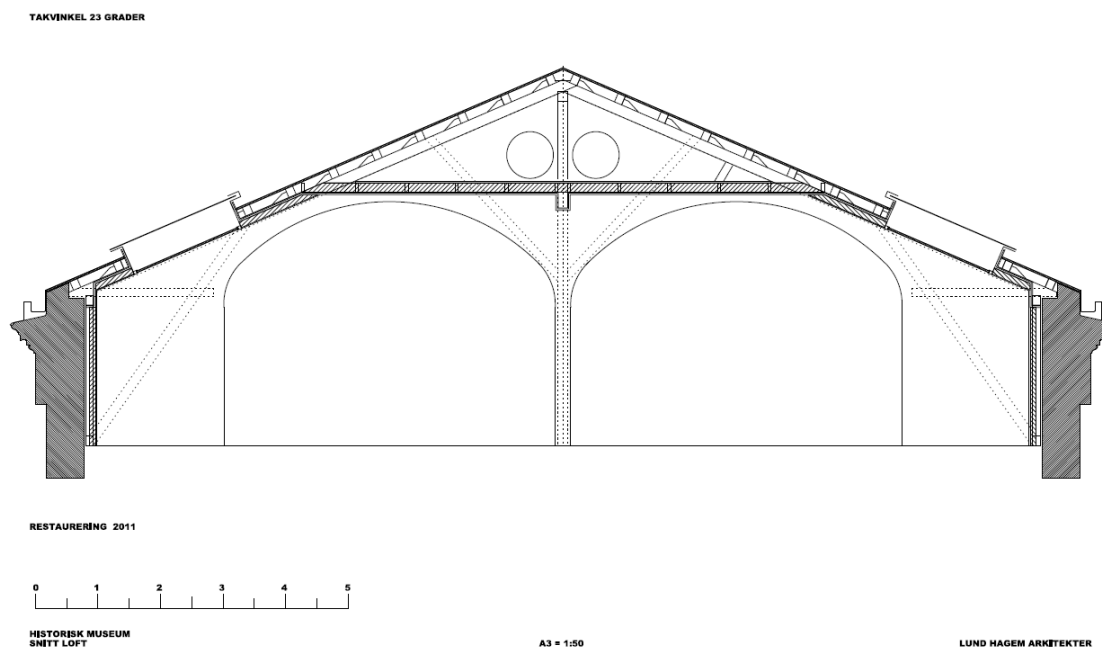


Fig nr 13: Snitt takkonstruksjon



Bilde 17: Takkonstruksjon med buede hvelvinger som skjuler sperrebind.



*Bilde 18: 4.etg Takkonstruksjon
Buede hvelvinger*



*Bilde nr 19: Takkonstruksjon
Takkonstruksjon med innkassing under overlysvinduer*



*Bilde nr 20: Takkonstruksjon
Takkonstruksjon med overlysvinduer fra 1970*

Vurdering av setningsskader

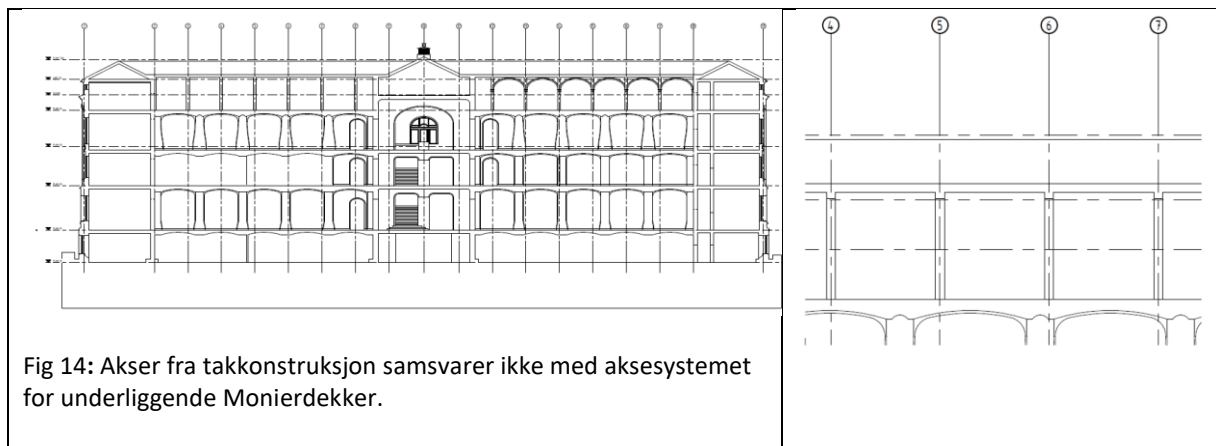
Takkonstruksjonen har ulik akseinndeling i forhold til underliggende bærende murkonstruksjon.

Senteravstand mellom langsgående oppleggsbuer på 4.1m mellom sperrebind i takkonstruksjonen samsvarer ikke med underliggende monierdekker, som har senteravstand på 4,9m.

Belastning fra takkonstruksjonen føres dermed ikke vertikalt ned gjennom felles akser ned til betongfundament men må tas opp i veggkonstruksjoner og videreføres til bærende inner- og yttervegger.

Hvilke konsekvenser dette har for konstruksjonen og setningsskader er ukjent.

Som følge av ulik akseinndeling og senteravstand på hhv monierdekker og takkonstruksjon vil last fra takkonstruksjonens stedvis belaste kilbuer over vinduer i varierende grad. Oppstår det en bruddskade på kilbuer, som følge av setninger på bygget, som belastes med et sperrebind fra tak, vil dette kunne få store konsekvenser.



2 Vurdering av skader

2.1 Setningsmålinger

Som følge av at det ble avdekkede riss- og sprekkdannelse for begge endeskipene ut mot Fredriksgate, er det blitt utført setningsmålinger av Historisk museum i perioden 2018-2021 i regi Terratec AS.

Målinger er deretter sammenlignet med tidligere utførte målinger av bygget fra 1996-2000, utført av Nerdrum Oppmaaling AS i forbindelse med arbeider med ny Nationaltheatret stasjon. Hensikten med målinger var å avdekke om skader på bygget kunne skyldes setninger eller bevegelse i bygget.

I tillegg har Scan Survey utarbeidet en punktskymodell av fasader for bygget.

2.1.1 Underlagsdokumenter:

- Nerdrum Oppmaaling i perioden 1996-2000. Nivellement
- Terratec i 2018-2023. Nivellement
- Scan Survey Punktskymodell fra 2017. 3D-modell

2.1.2 Punktskymodell

Når vi setter punktskymodellen inn i tegneprogram ser man tydelige setningene på bygget.

Under oppføring av bygget med utgraving av byggegrop og etablering av fundamentering ble arkitekt Bull gjort klar over redusert bæreevne på grunnforholdene nærmest slottet. Selv om det ble gjennomført forsterkende tiltak med bl.a spuntvegg, faller bygget fra nord til syd med overkant 50 cm fra hjørnet Kristian IV's gate og Frederiks gate.

Bygget synker også jevnt ned i massene mot Kristian Augusts gate og Tullinløkka.

Høydeforskjell er på 5 cm som faller fra vest til øst. Målinger viser at byggets østfasade mot Tullinløkka har større setninger noe som høyst sannsynlig er en direkte følge av sterkt fallende fjellformasjon mot Tullinløkka

Kfr Fjellkotekart i kap 1.3 Grunnforhold.

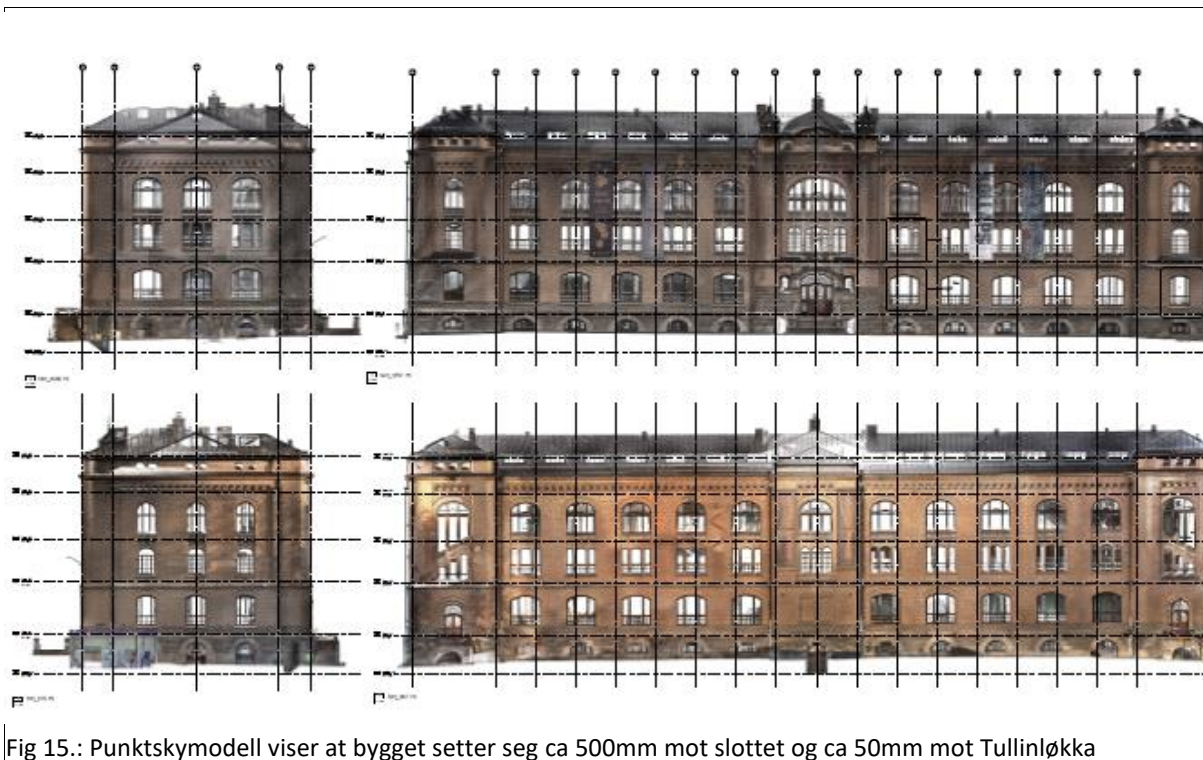


Fig 15.: Punktskymodell viser at bygget setter seg ca 500mm mot slottet og ca 50mm mot Tullinløkka

2.1.3 Nivellement - Utvendig

Vi har tatt utgangspunkt i Nerdrums bolter og nivellement fra 1996 til 2000 og gjennomført 6 nyere målinger fra 2018 til 2023 fra Terratec.

Begge firma har i all hovedsak benyttet de samme bolter i vegg og vi har forsøkt å sammenstille målinger i en felles tabell, som kan si noe om byggets samlede bevegelse over tid.

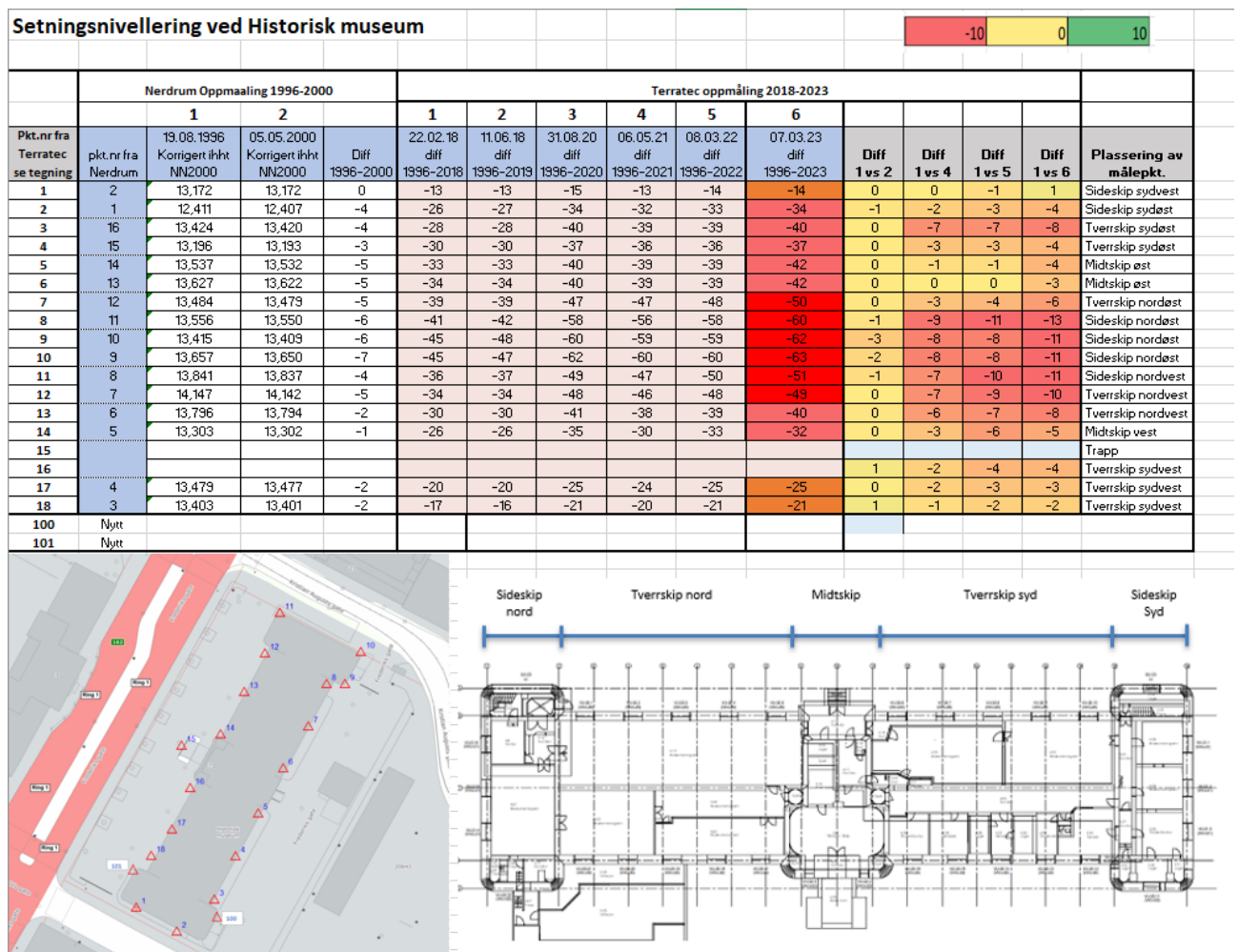
Målinger utført av Nerdrum er korrigert ihht justering av fastpunkt ihht det nasjonale høydesystemet NN2000.

Som det fremgår av tabell med nivellerte målerverdier har bygget i løpet av 1996 til 2023, setninger i størrelsesorden 13 til 60mm.

De største akkumulerte setningene befinner seg nå i bygget nordøstre del, ved inngangen til heis i sideskip nord, mot Kristian Augusts gate. De minste setningene befinner seg på motsatt side av bygget, sideskip syd, som fra før har de største setningene.

Av setningsmålinger kan vi lese at Historisk museum har betydelige setninger og at setninger pågår. Som følge av setninger er bunnplaten bøyd ned mot det sydvestre hjørnet, som er byggets laveste punkt. Bunnplaten er deretter påført en vridning hvor nord østre hjørne er 50mm lavere enn det nord vestre. Det vil si en diagonal vridning for bunnplaten, i forhold til byggets laveste punkt.

Nyer setningsmålinger viser at det nordvestre hjørnet nå har de største pågående setningene. Dette vil si at vridningen diagonalt for bunnplaten er under utvikling og blir stadig større. Mye tyder på at varierende høyde til fjell kan medføre at bygget nå setter seg ned mot Tullinløkka.



Figur 16: Setningsmåling fra 1996 til 2023

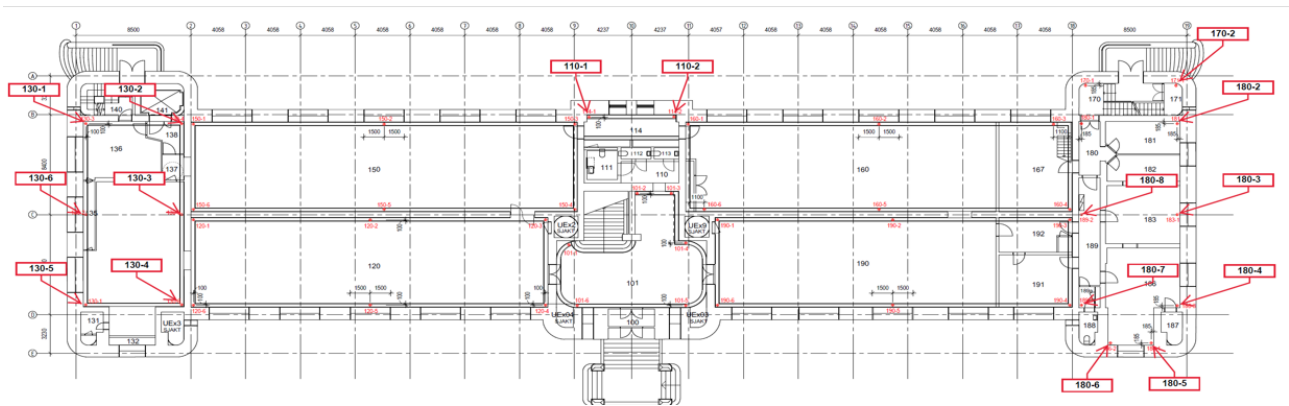
Vurdering av setningsskader

2.1.4 Nivellement - Innvendig

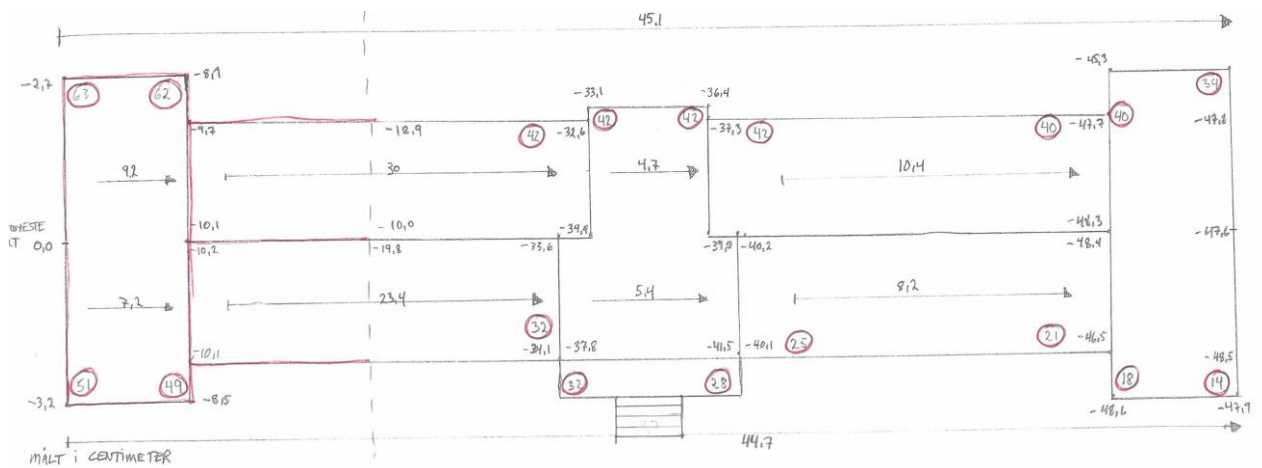
Utvendige målinger viser setningshistorikk for bygget, men gir ikke et godt bilde av setningsbildet inne i bygget. I den anledning har Terratec gjennomført innvendige nivellering av etasjeskiller for 1.etg for å oppnå en bedre visuell kontroll av setningsbildet inne i bygget. Støpt gulvoverflate i 1.etg er all hovedsak utformet likt og i utgangspunktet med tilnærmet lik kotehøyde.

Det er blitt utført 2 kontrollmålinger i hhv 2022 og 2023, som nå gir en bedre oversikt over setninger og fall på gulv for å kontrollmåling av setninger på gulv i 1.etg.

Det er blitt satt ut punkter i hvert rom i 1.etg i form av fastlimte sirkulære messing plater med graverte punktnummer iht vedlagt oversikt. Målinger bidrar til å gi en bedre oversikt over setningsforløpet i de ulike bygningsdelene og en mer detaljerte informasjon for setninger og fallretning på gulvet i de ulike rommene. Kombinert med setningshistorikk på bygget fra 1996 og frem til 2023 gir dette et bedre innblikk i bevegelser for bygget og tilhørende skadebilde



Figur 17: Plassering av målepunkt i 1.etg



Figur 18: Målsatte punkter som viser setninger og fallretning.

Målinger i røde sirkler viser målte akkumulerte setninger (i mm) i perioden 1996 og frem til 2023

2.2 Vurdering av skader

Mye tyder på at de største konsolideringssetningene fant sted i de første årene etter at bygget ble oppført. Dette samsvarer med at konsolideringssetninger normalt innfinnes i løpet av byggets første leveår. Kontroll av målinger fra 1996 frem til 2021 viser et tilnærmet lineært setningsforløp for de fleste målepunktene, men i varierende grad.

Bygget har satt seg ca 50cm i byggets lengderetning. Dette tilsvarer en skjevstilling på ca 6-8mm per meter. Vinduene er ca 3,5 meter brede, som medfører en skjevstilling slik at vinduer kan være 20-30mm ute av vater. Utstillingssalene er ca 30 m lange, som medfører en høydeforskjell over rommet på 10-30cm. Denne skjevstillingen kan få konsekvenser for utstillinger og som krever høy grad horisontalt underlag.

Slik det fremgår av tegningsunderlag antar vi at hovedarmeringen i form av det nedre lag av jernbaneskiner ble etablert på tvers av byggets lengderetning. Dette betyr at avstivning av dekket i lengderetning befinner seg under yttervegger og under midtstilt hjertevegg i form av 2 lag med hhv 3 og 2stk jernbaneskiner i to høyder. I og med at hovedarmeringen er etablert på tvers av lengderetningen kan en dermed anta at stivheten på fundamentet i lengderetningen være noe underdimensjonert.

Dette kan gi rom for bevegelser og setninger i forhold til varierende bæreevne fra grunnen.

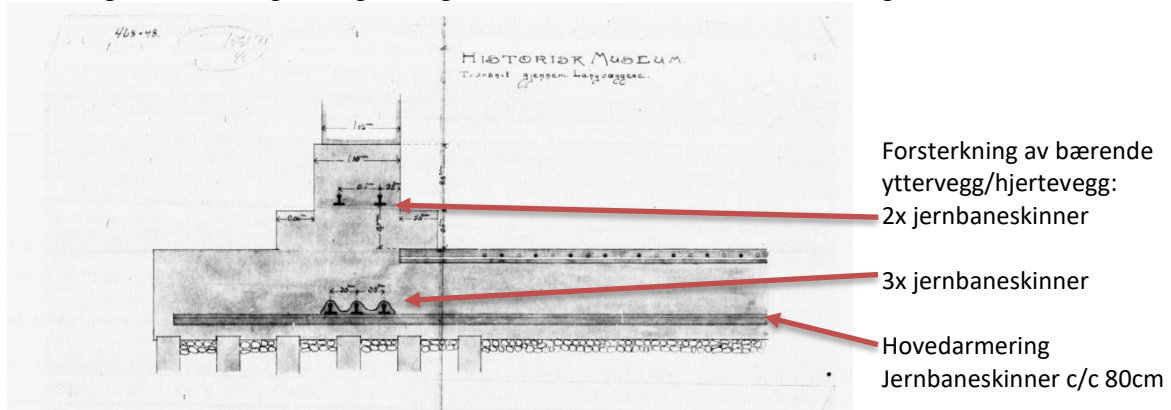


Fig 19: Fundamentplate

Som følge av setninger på Historisk museum er bunnplaten bøyd ned mot det sydvestre hjørnet, som er byggets laveste punkt. Bunnplaten er deretter påført en vridning hvor nord østre hjørne er 50mm lavere enn det nord vestre. Det vil si en diagonal vridning for bunnplaten, i forhold til byggets laveste punkt. Nyer setningsmålinger viser at det nordvestre hjørnet har de største pågående setningene. Dette vil si at vridningen diagonalt for bunnplaten er under utvikling og om blir stadig større.

2.2.1 Yttervegger

I og med at murte vegger har mørtelfuger i kalk har denne evnen til å ta opp bevegelser i konstruksjonen uten å sprekkes opp. Dog har bevegelser i yttervegger medført stedvis riss- og sprekke-dannelser samt knusnings-skader av tegl i utsatte områder.

Sammenføyninger mellom byggets hoveddeler er oppført uten dilatasjonsfuger. Bevegelser i bygget vil dermed søke mot svakere deler av konstruksjonen i form av dør- og vindusåpninger. Bevegelser har allikevel medført spennings-skader på teglstein i utsatte områder. Overgang mellom tverrskip og endeskip påføres betydelige krefter som har medført brudd og oppsprekking av teglstein for utsatte områder, spesielt ned mot sokkel av granitt. Teglsteinfasader har i flere områder blitt utbedret for knust og oppsprukken teglstein.

I sideskip nord viser målinger sideveis setninger på tvers av byggets lengderetning. Høybrekket for salen i sideskip nord befinner seg midt i bygget med fall til begge retninger.

Målinger viser at sideskipet setter seg mot øst. Nytt setningsforløp, som beskrevet ovenfor, medfører nye bevegelser i bygget med nye skadebilder i tillegg til at eksisterende skader vil fortsetter å utvikle seg.

2.2.2 Vindusåpninger

Tidligere setningsforløp har medført at bygget har systematiske deformasjoner for hvert vindusfelt i langfasadene. I og med at murte vegger har mørtelfuger i kalk har denne evnen til å ta opp bevegelser i konstruksjonen uten å sprekkes opp. Dog har bevegelser i yttervegger medført stedvise riss- og sprekkdannelser samt knusningskader av tegl i utsatte områder. I forbindelse med utført fasadetiltak har skadet teglstein blitt skiftet ut og erstattet med nye stein som er bestilt.

Setninger og skjevstilling på bygget, har medført at de store vindusfelt er 20-30mm ute av vater eller 10-15mm ute av lodd.

Større skader befinner seg murverk rundt vinduer og på omramning på vinduer for begge sideskip som vender mot hovedinngang. Riss- og sprekkdannelse kan sees som oppsprekking for både teglfasader og sandsteinsomramning rundt vinduer mellom de avrundede risalittene. På vinduet lengst mot nord (Kristian Augusts gt) har murkonstruksjon og omramning i sandstein lagt seg ned på trekarmen og høyst sannsynlig medført at glasset har fått bruddskader.

Åpninger for vinduer medfører derimot en svekkelse av konstruksjonen hvor vindusutsparinger blir en naturlig rissanviser i fasade. Vridningen har medført at det har oppstått riss og sprekkdannelse over vinduer i kilbuene. Karakteristiske riss og sprekkdannelser befinner seg i all hovedsak i den første 1/3 delen over vinduer. Det vil si delen som ligger lengst vekk i forhold til laveste punket på bygget. Riss kan for mange vinduer, ses som skråstilte riss som følger mørtelfuger eller også har medført gjennomgående bruddskader på teglstein.

Trykkbuene er en vesentlig del av ytterveggenes bærende elementer. Som følge av vridning på dekker påføres store krefter til vindusfeltene. Oppsprekking av trykkbuer kan medføre at deler av fasade mister sin bæreevne og kan ved større deformasjoner falle ned på vinduskonstruksjon. Dette har inntruffet for hhv begge overgangene mellom tverrskip og endeskip for fasade ut mot hovedinngang. I dette området fungerer vindusutsparinger som et perforeringsfelt, som rives fra hverandre grunnet setninger.

På bilde under kan man, ut ifra oppsprekking i teglfuger og deformasjoner på sandsteinsomramning, se at større setninger på endeskipet i forhold til tverrskipet har påført bruddskader for tilstøtende vindusfelt i tverrskipet.

Skader på sandsteinsomramning lar seg ikke utbedre grunnet måten sandsteinsblokkene er sammenføyd med dybler i tillegg til at blokkene er murt inn som en del av mursteins vegg. Sandsteinsomramning ligger nå på vinduskarm og belaster dette slik at et av glassene hadde fått påført en bruddskade.



Bilde nr. 21: Oppsprekking i mørtelfuger og deformasjoner på sandsteinsomramning

Vurdering av setningsskader

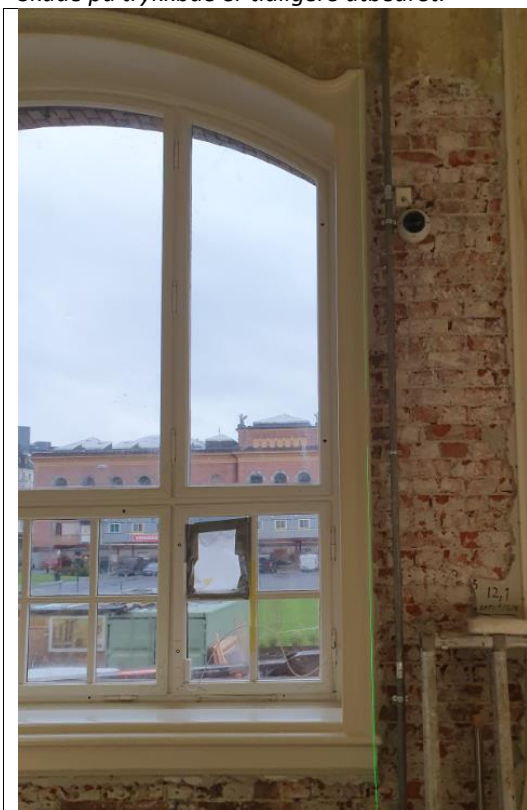
Vindusutsparinger har karakteristiske trykkbuer som fordeler last fra overliggende fasade, tilside for vinduer.



Bilde nr. 22: Rom 114 Tverrskip nord
Riss- sprekkdannelse i 1/3 punktet over vindu.
Skade på trykkbue er tidligere utbedret.



Bilde nr 23: Rom 115 Midskip
Skade på overdekning og søyle mellom vinduer
grunnet setninger. Bygget «Knekker» over
midtskipet som følge av vridning på bunnplaten.



Bilde nr 24: Tverrskip nord - Rom 114.
Kontrollmålt skjevstilling vindu med laser
Målt 12mm ut av lodd, 32mm ut av vater



Bilde nr25: Rom 331 Tverrskip nord
Riss- sprekkdannelse i 1/3 punktet over vindu.
Skade på trykkbue er tidligere utbedret.

2.2.3 Innvendige bærevegger

Hjertevegg har i all hovedsak en døråpning mellom utstillingssaler. Over hver dør kan en se sprekk- og rissdannelse. Under utførte vedlikeholdsarbeider i utstillingssaler kan en se riss og sprekkdannelse, som ved flere tidligere anledninger opp gjennom årene har vært utbedret.

Stedvis er områder med skadet teglstein blir skiftet ut og større felter med skadet puss er hugget og erstattet med ny puss. Vegger er nå utbedret, men fortsetter setninger for bygget vil nye skader på puss og teglstein over utsparing for dører oppstå.

Spesialbygde innerdører i glass mellom utstillingssaler er nå prosjektert og levert med skjevstilling tilpasset byggets setninger.

Etablering av nye toaletter under hovedtrapp i midtskipet, avdekket betydelige riss og sprekkdannelse i murverket. Skråstilte riss indikerer bevegelser i konstruksjonen som kan forklare roterende bevegelser over midtskipet.



Bilde nr 26: Skråstilte riss i midtskipet

Det som er foruroligende, er variasjonen på setningsforløpet for bygget. Setningsmålinger viser at den nordøstlige delen nå har de største pågående setningene. Tidligere har bygget satt seg tilnærmet rettlinjert mot sideskip syd, eller byggets sydvestre hjørne mot slottet. Målinger og skader på bygget viser nå at bygget bøyer seg over byggets midtskip og sideskip nord, samtidig som det roterer eller vrir seg diagonalt.

I sideskip nord viser målinger sideveis setninger på tvers av byggets lengderetning. Høybrekket for salen i sideskip nord befinner seg midt i bygget med fall til begge retninger.

Nytt setningsforløp, som beskrevet ovenfor, medfører nye bevegelser i bygget med nye skadebilder i tillegg til at eksisterende skader vil fortsetter å utvikle seg.

Bygget har nå vært igjennom et omfattende vedlikeholdstiltak både innvendig og utvendig i regi av Universitet i Oslo med en betydelig kostnadskonsekvens. Slik vi vurderer eksisterende skadebilde, opp mot forventet utvikling på sikt, tilsier at bygget bør stabiliseres med en refundamentering for å stoppe videre skadeutvikling. Dersom bygget får ytterligere setninger i størrelsesorden 50-60mm vil bygget få påført skader som ikke vil være mulig å utbedre. Skadebilde vil gjenoppstå og nylige utførte reparasjoner vil måtte gjøres om.

Vår vurdering tilsier at bygget kan tåle nye 30-50mm setninger før en omfattende refundamentering av hele bygget vil måtte være påkrevet. Vi anslår at byggets restlevetid før en refundamentering er nødvendig er i løpet av en 10 års periode.

3 Forslag til utbedring

3.1 Refundamentering:

Vi anbefaler at det innen 5-10 år gjennomføres tiltak som kan stabilisere bygget og som stopper setningsutviklingen.

Fredningsbestemmelser for bygget, størrelse og kompleksitet tilknyttet fundamentering og varierende avstand til fjell tilsier at det bør gjennomføres en refundamentering av bygget.

En jekking av bygget vil høyst sannsynlig ikke kunne være gjennomførbart og vil kunne medføre nye skader på bygget.

Omfattende reparasjoner eller refundamentering er svært kostbart, og må derfor vurderes grundig på forhånd. Alle større refundamenteringsarbeider krever faglig bistand for å vurdere geotekniske og byggetekniske forhold. Murte konstruksjoner er svært ømfintlige for bevegelser og bør som regel ikke rettes opp.

En refundamentering av bygget vil høyst sannsynlig kun stoppe setninger. Før man iverksetter refundamenteringsarbeider, må det nøye vurderes hvilken metode som er best egnet og som i tillegg kan redusere omfang og inngripen i kjellerarealene, som vil bli berørt av tiltakene.

Dette avhenger av byggets fundamenter, konstruksjon og lastfordeling, grunnforhold og risiko for skade på nærliggende bygninger og anlegg samt risikoen for skade på bygget ved framtidige endringer på og utenfor tomta.

Ved refundamentering med peler overføres lastene fra bygningens gamle fundamenter til nye peler til fjell eller annen bæredyktig grunn. Valg av konstruksjonsmåte er avhengig av bygningens bæresystem og fundamenter, fundamentenes tilstand og tilgjengelighet, arbeidsrom på utvendig og innvendig side, plassering av pel i forhold til grunnmur, etablering av mothold, støy, prøvebelastning, vurdering av fjellfeste, retthet av pel osv.

Ikke minst må faren for skader på bygningen ved oppgraving og lastomlagring vurderes nøye.

Det må også gjøres en vurdering om grunnmurene må forsterkes i lengderetningen for å kunne bære mellom pelene. Peler etableres normalt på begge sider av yttervegg eller innvendige bærevegger med en gjennomgående bjelke som stabiliserer konstruksjonen. Alternativt kan det støpes en bjelke på hver side av grunnmuren. Lastene fra grunnmuren til betongbjelkene overføres via tverrbjelker av betong eller omstøpte stålbjelker.

Avhengig av krav til type refundamentering av bygget vil dette kunne få konsekvenser for innvendige arealer i kjeller. Dersom det må nedrammes pæler til fjell, inne i bygget vil dette kunne beslaglegge arealer og fremtidig bruk av kjellerarealene som berøres av tiltakene.

Vi anbefaler, på grunnlag av ovennevnte, at en refundamentering utføres før det gjennomføres nye tiltak i kjeller i regi av museet, som vil komme i konflikt med forsterkninger.

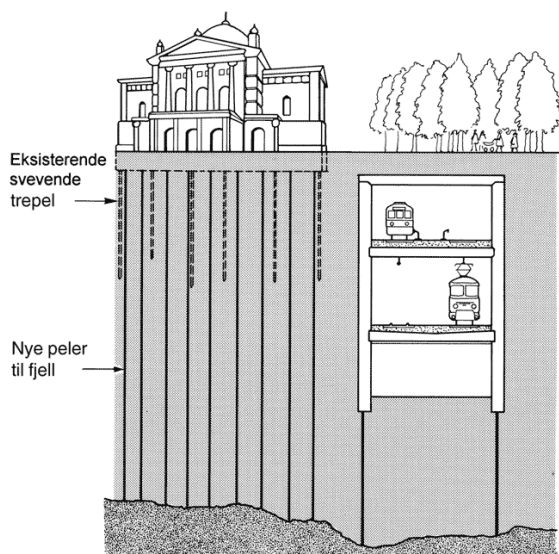


Fig. 20: Nationaltheatret i Oslo – Prinsipp refundamentering

Nationaltheatret i Oslo var opprinnelig fundamentert på svevende trepeler med en overliggende betongplate. Varierende dybder til fjell hadde medført store, ujevne setninger. Bygningen måtte refundamenteres med peler til fjell før byggingen av fellestunnelen for NSB og Oslo Sporveier.

Historisk Museum har tilsvarende fundamenteringsmetode som Nationaltheatret, hvor bygget er fundamentert på en sammenhengende betongplate forsterket med ca 2500 peler av tømmerstokker nedrammet 10m ned i leire hvor ingen er i kontakt med fjell.

Som følge av ovennevnte anbefaler vi at det gjennomføres en erfaringsoverføring fra utført refundamentering av Nasjonalteatret i tilknytning til prosjektering av refundamentering av Historisk museum. Begge byggene ligger ihht Oslo Kommunes geotekniske kartløsning, i et område med høy risiko for setninger.

3.2 Grunnvann - Kontrollmåling

I byer, hvor bygninger står tett inntil hverandre, vil en bygning ofte få skader og setninger ved bygging på nabotomta. Særlig gjelder dette når den nye nabobygningen skal fundamenteres dypere.

De største målte setninger etter 1996 befinner seg for det nord østre hjørne ved inngangen til heis. Her er det også målt størst avstand ned til fjell. I tillegg må det bemerkes at det er utført byggeprosjekt for både Kristian Augusts gate og pågående tiltak i nabobebyggelse som kan medføre senkning av grunnvannsnivå og poretrykkfall og dermed fare for ytterligere setninger på bygget.

Vi anbefaler at det minst etableres 4 poretrykkmålere (piezometre) rundt bygningen som til enhver tid kan kontrollere grunnvannsnivå. Det pågår omfattende byggeaktivitet i Kristian Augusts gate som enten påvirker eller kan på sikt påvirke grunnvannsnivå for Historisk museum.

Om nødvendig etableres varslingsutstyr dersom grunnvannsnivå kommer under anbefalt nivå.

Om nødvendig kan det etableres vanntilførsel dersom det blir lokalt for lavt grunnvannsnivå i forhold til trepeler.

Infiltrasjonen utføres gjennom grunne brønner eller rør som står i forbindelse med vannførende jordlag. Dypinfiltrasjon kan utføres gjennom rør som er ført ned til aktuell dybde eller fra sjakter i fjell. Vannet må som regel tilføres under betydelig overtrykk i forhold til det eksisterende poretrykket. Virkningen av infiltrasjon må kontrolleres ved poretrykksmålere (piezometre) som er nedsatt i grunnen. Sjakter og rør må utføres slik at de kan renses regelmessig.

Vurdering av setningsskader

Infiltrasjon blir i første rekke brukt for å unngå skader på eksisterende bebyggelse ved langvarige byggearbeider og tunneldrift i bystrøk, men benyttes også som et permanent tiltak. Infiltrasjonssystem er komplisert og må planlegges av spesialister.

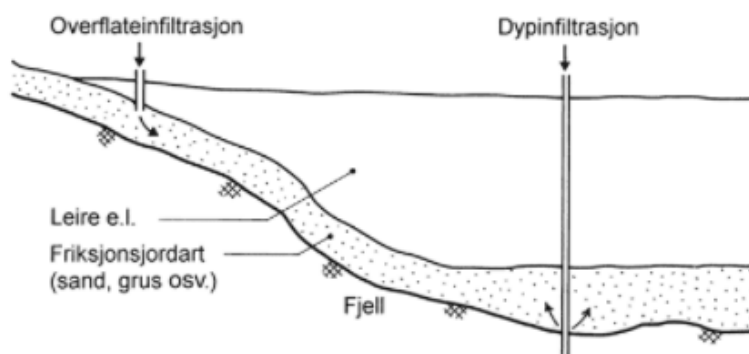


Fig. 33

Infiltrasjon av byggegrunn. For å hindre erosjon ved utstrømning av vann i friksjonsjordarten i forbindelse med dypinfiltrasjon, kan det infiltreres via en nedboret brønn i fjellet, pakket med egnede masser som sikrer en kontrollert utstrømning.

3.3 Kontrollmålinger – Nivellement

Vi har tatt utgangspunkt i Nerdrums bolter fra 1996 til 2000 og tilføyet Terratec målinger fra 2018 frem til 2023. Begge firma har i all hovedsak benyttet de samme bolter i vegg og vi har forsøkt å sammenstille målinger i en felles tabell, som kan si noe om byggets samlede bevegelse.

Det er i 2022-23 blitt gjennomført 2 innvendig nivellering av gulvflaten i hele 1.etg som gir et bedre visuelt bilde av setningsforløp for de ulike bygningsdelene og hvilke konsekvenser dette får for bygningen

Som det fremgår av tabell med nivellerte målerverdier har bygget i løpet av 1996 til 2023, setninger i størrelsesorden 13 til 63 mm. Kontroll av målinger viser et tilnærmet lineært setningsforløp for alle målepunkt dog i varierende omfang.

De største setninger befinner seg nå for det nord østre hjørne ved inngangen til heis.

Vi anbefaler at kontrollmåling av setninger fortsetter med et periodisk intervall som kan holde setningsutviklingen under oppsikt. Vi anbefaler minst 4 utvendige målinger i året. Innvendige målinger kan utføres 1-2 ganger i året. Alle målinger bør protokollføres i en felles tabell slik at målinger pr punkt kan sammenlignes og avvik enkelt avleses.

4 Underlagsdokumenter - Rapporter og tegninger

- Nerdrum Oppmaaling i perioden 1996-2000. Nivellement
- Terratec i 2018-2023. Nivellement
- Scan Survey Punktskymodell fra 2017. 3D-modell

Kilder:

- Foredrag av arkitekt Henrik Bull om utformingen og byggingen av Historisk museum.
- Bilder fra originale tegninger fra Henrik Bull fra Riksarkivet
- Tilstandsanalyse fra Forsvarsbygg datert 03.02.17
- Rapport tilstandsanalyse utført av Siv Ark Jens Treider - 2016
- Notat fra Murermeister T. Berner & Co AS – 2016
- Mørtelanalyser av T. Berner & Co AS – 2016
- Riksantikvaren – Tegninger fra 1980
- Tilstandsanalyse Hjellnes Consult AS – 2007

Rapporter og tegninger

- Drenering – tegning 1973
- Drenering og overvannshåndtering – 1973
- Plassering av poretrykksmåler 10202450- RIG-NOT-001 Borplan
- PZ2 Poretrykksmåling -2017
- Fjellprofil Tegning Boreplan 4565-1 - 1963
- Fjellprofil under Historisk Museum snitt A-A - 1963
- Fjellprofil under Historisk Museum snitt B-B - 1963
- Fjellprofil under Historisk Museum snitt AC-C -1963
- Geoteknisk notat fra Noteby – 1963
- Snitt fundament – 1898
- Etasjeskillere – Monier dekker – Originaltegning 1898
- Plantegninger 1. til 4.etg fra Arkitekt lundhagem
- Taktegning fra Arkitekt lundhagem

Vi har tidligere utarbeidet følgende relevante rapportert og notater:

- 20170201-RIB-NOT-001 Forsterkning av tak
- 20170201-RIB-NOT-005 Måling av setninger
- 20170201-RIB-NOT-006 Utsparing dør til toalett
- 20170201-RIB-NOT-007 Utvekslingsbjelke sal 114
- 20170201-RIB-NOT-008 Skade på søyle mellom vinduer rom 115
- 20170201-RIB-NOT-009 Vanninntrenging i kjeller