

Del 2: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging

Materialoppførsel av ekspandert polystyren

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1018



E6 Grimsoyveien bru. Fundamentering av bru på EPS fylling. Foto: Henriette Busterud, Statens vegvesen

Tittel

Del 2: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging

Undertittel

Materialoppførsel av ekspandert polystyren

Forfatter

Roald Aabøe

Avdeling

Vegutforming

Seksjon

Klima og geofag

Rapportnummer

1018

Prosjektleder

Veslemøy Gardå

Godkjent av

Heidi Bjordal

Emneord

ekspandert polystyren, EPS, lette masser, bru, spenninger, forskning, vegbygging, konstruksjoner, setninger, stabilitet, densitet, trykkfasthet, levetid, bærekraft

Sammendrag

Bruken av EPS har blitt dokumentert gjennom 3 Statens vegvesen rapporter:

- Nr. 1017 Del 1: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging.
- Nr. 1018 Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren.
- Nr. 1019 Del 3: Design og eksempler på bruk av ekspandert polystyren.

Denne rapporten tar for seg resultater fra overvåkingsprogrammet av EPS konstruksjoner gjennom 50 år samt resultater fra instrumenterte konstruksjoner og teoretisk modellering i norsk og internasjonal sammenheng. Langtidsobservasjoner viser at det er rimelig å anta at EPS fyllinger vil ha en levetid på minst 100 år. Som forventet viser utgravde blokker fra permanente og midlertidige konstruksjoner i et mer enn 50 år perspektiv ingen synlige tegn på nedbrytning.

Title

Part 2: 50 years of light expanded polystyrene materials in road construction

Subtitle

Material behavior of expanded polystyrene

Author

Roald Aabøe

Department

Road Design

Section

Geotechnics and Climate Adaptation

Report number

1018

Project manager

Veslemøy Gardå

Approved by

Heidi Bjordal

Key words

expanded polystyrene, EPS, lightweight materials, bridge, stresses, research, road construction, structures, settlements, stability, density, compressive strength, lifespan or service life, sustainabilit

Summary

The use of EPS has been documented through three Norwegian Public Roads Administration Reports:

- No. 1017, Part 1: 50 years of light expanded polystyrene materials in road construction.
- No. 1018, Part 2: Material behavior of expanded polystyrene.
- No. 1019, Part 3: Design and examples of the use of expanded polystyrene.

This report discusses the results from the monitoring program of EPS (Expanded Polystyrene) constructions over 50 years, as well as results from instrumented constructions and theoretical modeling in both Norwegian and international contexts. Long-term observations indicate that it is reasonable to assume that EPS fill materials will have a lifespan of at least 100 years. As expected, excavated blocks from both permanent and temporary constructions, observed over a period of more than 50 years, show no visible signs of degradation.

Innholdsfortegnelse

INNHold

1	Innledning.....	6
2	Materialet ekspandert polystyren	8
3	Materialegenskaper	9
3.1	Regelverk	9
3.2	Bærekraftig bruk av EPS	12
4	Materialtesting	13
4.1	Overvåkingsprogram.....	14
4.2	Undersøkelsesfrekvens	17
4.3	Resultater fra 50 års langtidsoppfølging av EPS	17
4.3.1	Materialets trykkfasthet.....	17
4.3.2	Vannopptak i blokkene – densitet	21
5	Nedbryting / bestandighet.....	25
6	Instrumenterte konstruksjoner.....	28
6.1	Modellforsøk i Veglaboratoriets forsøkshall	28
6.2	Fullskala forsøk på E6 Løkkeberg bru med langtidsoppfølging av deformasjon, kryp og spenningsfordeling.	31
6.2.1	Konstruksjonen	31
6.2.2	Deformasjoner	32
6.2.3	Spenninger i konstruksjonen	34
6.3	E6 Hjelmungen bru (inkludert reparasjon i 1996 og utvidelse i 2006).....	37
6.4	E6 Grimsøyvegen bru	39
6.5	I 15 (Utah, USA). Langtidsforsøk på EPS fylling i Salt Lake City	40
6.6	Konklusjon på modell – og fullskalaforsøkene	41
6.7	Videre arbeid	41
6.8	Forprosjekt utvikling av designmanual for direktefundamentering av bruer på EPS ...	44
7	Redusert horisontaltrykk	46
7.1	Redusert horisontaltrykk bak støttemurer og landkar	46
7.2	Vibrasjoner og setninger.....	51
7.3	EPS fyllinger utsatt for seismiske laster under jordskjelv	51
8	Tilstandsvurdering av vegdekke over EPS fyllinger	54
9	Konklusjon.....	55
10	Referanser	56

Figuroversikt

FIGUR 1. BLOKKER AV EPS HAR GJENNOM 50 ÅR BLITT TESTET. FOTO: TOR HELGE JOHANSEN STATENS VEGVESEN.....	6
FIGUR 2. KRYPFORSØK PÅ EN FYLLING AV EPS I FORSØKSHALLEN PÅ VEGLABORATORIET. HERMANN BRUUN STYRER PÅLASTNINGEN. FOTO: ROALD AABØE, STATENS VEGVESEN	7
FIGUR 3. PRODUKSJON AV EKSPANDERT POLYSTYREN	8
FIGUR 4 KONTROLL AV TRYKKFASTHET	9
FIGUR 5. MATERIALSTYRKE AV EPS MÅLT I LABORATORIET. PRØVENE ER FRA DEN FØRSTE EPS FYLLINGEN (FLOM BRUER 1972) OG ER TESTET I 2024.....	10
FIGUR 6. EPS MÅ BESKYTTES MOT KJEMISK OG MEKANISK PÅVIRKNING. FOTO R. AABØE, STATENS VEGVESEN	11
FIGUR 7. UTGRAVING FOR PRØVEPROGRAMMET MED GRAVEMASKIN OG MOTORSAG OG MED VARMETRÅD.. FOTO FRA VD RAPPORT 33 OG MASTEROPPGAVE BRATTENSBORG G.....	15
FIGUR 8. TRYKKFASTHET PÅ OPPTATTE PRØVER FRA EPS–FYLLINGER	18
FIGUR 9. UTGRAVING AV DEN FØRSTE EPS FYLLINGEN PÅ RV 159 FLOM BRUER. FOTO TOR HELGE JOHANSEN	18
FIGUR 10. LOENGA BRU 1983 TRYKKFASTHET MÅLT ETTER 21 ÅR I EN VEGFYLLING.	19
FIGUR 11. GRAFISK FRAMSTILLING TØRR DENSITET MOT TRYKKFASTHET I EPS PRØVER FRA MYRBRUA PÅ FV 610	20
FIGUR 12. GJENBRUK AV EPS BLOKKER FRA LØKKEBERG BRU	20
FIGUR 13. VOLUMPROSENT VANN I PRØVER FRA EPS FYLLINGER. RESULTATER FRA MÅLEPROGRAMMET.....	22
FIGUR 14. MÅLT DENSITET VERSUS DESIGNVERDI.....	23
FIGUR 15. VANNINHOLDSGRADIENT GJENNOM EN NEDDYKKET EPS FYLLING. OPPGRAVING AV EPS FYLLING SOM HAR LIGGET NEDDYKKET I 9 ÅR I FV 610 VED SANDE–OSEN I SUNNFJORD.....	24
FIGUR 16. EPS HAR INGEN NÆRINGSVERDI FOR DYR /INSEKTER. ILLUSTRASJON: REFSDAL G. FOTO. SKADEDYRKONTROLLEN.	25
FIGUR 17. JORDPROFILER UNDER EPS FYLLING PÅ LØKKEBERG BRU. – PHOTO: TOR HELGE JOHANSEN, NPRA, YEAR 2006	27
FIGUR 18. BRANN I EN EPS FYLLING UNDER BYGGING, E6 VED VESTBY.....	27
FIGUR 19. MODELLFORSØK MED EPS BLOKKER FOR Å SE PÅ DEFORMASJON, KRYP OG SPENNINGSFORDELING. (FOTO: R. AABØE)	28
FIGUR 20. DEFORMASJON OG KRYPMÅLINGER FRA FORSØKS–HALLEN SAMMENLIGNET MED TEORETISKE BEREKNINGER	29
FIGUR 21. PLASSERING AV JORDTRYKSCELLER.	30
FIGUR 22. SPENNINGSFORDELING FRA SKALA FORSØKET I VEGLABORATORIETS FORSØKSHALL	30
FIGUR 23. LENGDEPROFIL AV LØKKEBERG BRUA. FIGUR OG FOTO; ROALD AABØE.....	31
FIGUR 24. 3 FORSKJELLIGE KVALITETER AV EPS ER BRUKT I FYLLING UNDER LANDKARET.....	31
FIGUR 25. EPS FYLLING OG LANDKAR FOR LØKKEBERG BRU	32
FIGUR 26. LANDKARET BLE HEVET MED 30 CM	32
FIGUR 27. SETNINGER OG DEFORMASJONER I EPS FYLLING OG UNDERGRUNN.....	33
FIGUR 28. OBSERVERTE DATA SAMMENLIGNET MED MODELLFORSØK OG TEORETISKE BEREKNINGER (MAGNAN & SERRATRICE	33
FIGUR 29. LØKKEBERG BRIDGE. OBSERVERTE SPENNINGSFORDELING OG SETNINGER I TVERRSNITTET.	34
FIGUR 30. MULIG FORKLARING PÅ SPENNINGSKONSENTRASJONER. FIGUR S.VALSSON, STATENS VEGVESEN	35
FIGUR 31. LANGTIDSMÅLINGER AV VERTIKALE TRYKK VED LØKKEBERG BRIDGE.....	36
FIGUR 32. VERIFIKASJON AV JORDTRYKSMÅLINGER MED EN TILLEGGLAST FRA EN DUMPER	36
FIGUR 33. HJELMUNGEN BRU. REPARASJON AV EKSISTERENDE BRU MED FUNDAMENTERING DIREKTE PÅ EPS.	37
FIGUR 34. HJELMUNGEN BRU. UTVIDELSE AV E6 OG ETABLERING AV NYTT FUNDAMENT PÅ EPS. FOTO: T. H. JOHANSEN	38
FIGUR 35. HJELMUNGEN BRU. RESULTATER FRA SETNINGS, DEFORMASJONSMÅLINGER OG SPENNINGSMÅLINGER.	38
FIGUR 36. E6 GRIMSØYVEGEN BRU. MIDLERTIDIG BRU FUNDAMENTERT PÅ EPS. FOTO: ROALD AABØE	39
FIGUR 37. DEFORMASJON MÅLT PÅ 3300 SOUTH STREET, I–15 RECONSTRUCTION PROJECT (FARNSWORTH ET AL., 2008). BILDE FRA EPS–PROCEEDINGS–2011–NORWAY.PDF	40
FIGUR 38. SAMMENLIGNING AV TEORETISK UTLEDTE BEREKNINGER OG MÅLINGER PÅ LØKKEBERG BRU. TEFERA 2012).....	43
FIGUR 39. REDUSERT HORIZONTALTRYKK. HENTET FRA THE EPS INDUSTRY ALLIANCE–EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) GEOFOAM APPLICATIONS & TECHNICAL DATA	46

FIGUR 40. MÅLING AV JORDTRYKK PÅ EN STOR STØTTEMUR I LABORATORIET. FOTO; HIDEKI TSUKAMOTO	46
FIGUR 41. REDUSERT HORIZONTALTRYKK, FULLSKALAFORSØK. FRA LUTENEGGER, CIUFETTY	48
FIGUR 42. REDUSERT HORIZONTAL TRYKK FRA EN EPS FYLLING (KUMAR BURUGUPELLY, SATYANARAYANA MURTY DASAKA)	49
FIGUR 43. REDUSERT HORIZONTAL LAST PÅ ET FUNDAMENT I JAPAN, EPS-PROCEEDINGS-2011-NORWAY.PDF	50
FIGUR 44. SHAKING TABLE FORSØK I JAPAN HHV MODELLFORSØK 1:5 TIL VENSTRE OG ET FULLSKALAFORSØK TIL HØYRE. FOTO: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOFOAM BLOCKS (SPRINGER)	52
FIGUR 45. JOINT METAL BINDERS SOM BRUKES FOR Å FORBEDRE STABILITETEN AV EPS FYLLINGER I OMRÅDER MED SEISMISK AKTIVITET	53

1 Innledning

I Norge har Statens vegvesen en lang tradisjon for å bruke ulike typer lette fyllingsmaterialer i vegbygging. Fram til 1970 årene ble organiske materialer som sagflis, barkrester fra treindustrien, avfall fra lettklinker- og lettbetongblokker benyttet til slike formål. Fra slutten av 1950 tallet ble i stort omfang løs lettklinker tatt i bruk og på 1990 tallet ble skumglass (Glasopor og Hasopor) også tatt i bruk.

Etter 1972 har blokker av ekspandert polystyren (EPS) vært brukt i omfattende grad til ulike vegformål, også inkludert blokker produsert fra resirkulert EPS-materiale.

50 års erfaringer med bruk av lette masser av ekspandert polystyren (EPS) har blitt dokumentert gjennom 3 delrapporter i 2025.

- Statens vegvesen rapport nr. 1017. Del 1: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren. Forskning lønner seg
- Statens vegvesen rapport nr.1018. Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren.
- Statens vegvesen rapport nr. 1019. Del 3: Design og eksempler på bruk av ekspandert polystyren.



Figur 1. Blokker av EPS har gjennom 50 år blitt testet. Foto: Tor Helge Johansen Statens vegvesen

For alle disse materialene har det blitt gjennomført overvåkningsprogrammer for å undersøke de langsiktige egenskapene. Denne delrapporten presenterer erfaringene fra omtrent 50 års bruk av EPS som lett fyllmateriale i veger i Norge, basert på observasjoner og innsamlede data fra overvåkningsprogrammene som har fulgt prosjektene. I tillegg er rapporten supplert med internasjonale data, særlig fra USA og Japan, hvor fokuset har vært på spenningsfordeling i fyllinger og fundamenter, kryp-deformasjon og setningsutvikling, samt oppfølging av seismisk aktivitet (jordskjelv).

Denne rapporten har blitt til ved hjelp av både personlig støtte og dokumentasjon av tidligere rapporter og muntlige utsagn. Spesielt nevnes Tor Erik Frydenlund for hans samarbeid og støtte til både denne rapporten, samt felles artikler og presentasjoner gjennom mer enn 40 år. Jeg vil også takke Jan Vaslestad og Sigurdur Valsson for godt samarbeid om innholdet. Begge er tidligere kollegaer i Statens vegvesen. I tillegg må laboratoriet til Statens vegvesen takkes for meget god hjelp og faglig assistanse.

Internasjonalt har mange lent seg på og brukt de norske erfaringene med metoden i utvikling av eget regelverk. Jeg vil likevel nevne spesielt Steven Bartlett, David Arrelano, Dawitt Negussy, Abdullah Tolga Øzer og Expanded Polystyrene Development Organisation (EDO) i Japan m.fl. Jeg har benyttet mye av deres arbeid som referanser, linker, vedlegg og til dels oversettelser i rapporten.

I rapporten har Chat GPT/Copilot blitt brukt til å lage sammendrag av utenlandske rapporter. I kap. 6.5, 6.6, 6.7, 7.1, 7.2 og 7.3 er dette markert med tekst i kursiv.



Figur 2. Krypforsøk på en fylling av EPS i forsøkshallen på Veglaboratoriet. Hermann Bruun styrer pålastningen. Foto: Roald Aabøe, Statens vegvesen

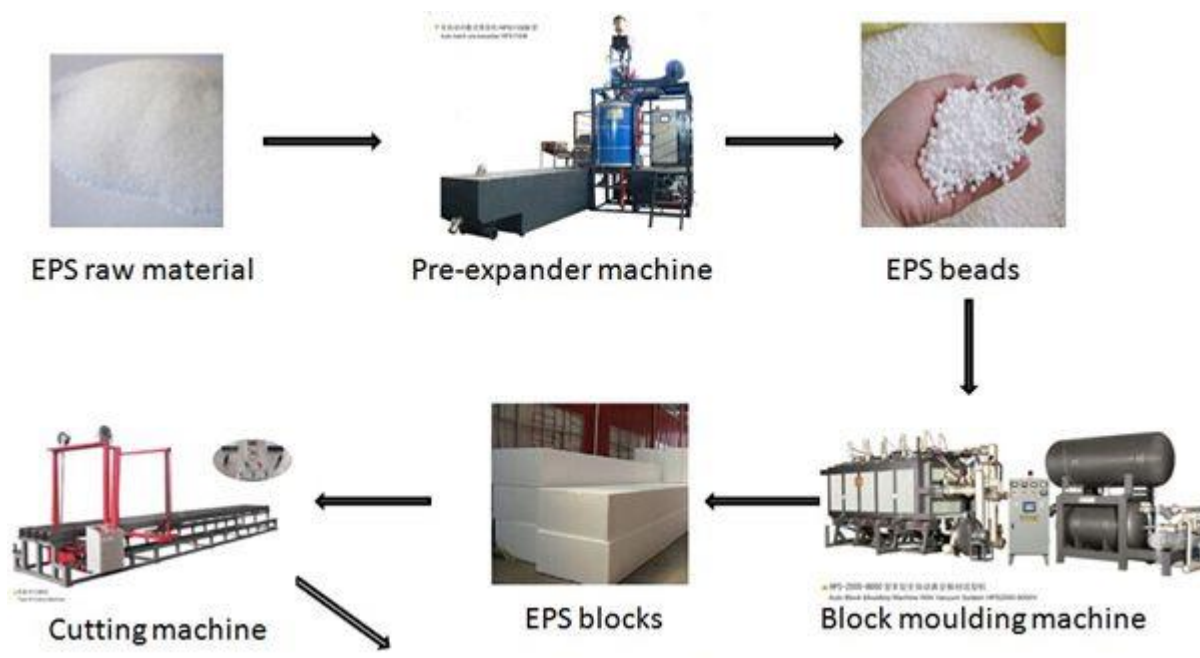
2 Materialet ekspandert polystyren

Ekspandert polystyren (EPS) er kjemisk sett en svært stabil forbindelse, og ingen materialnedbryting kan forventes når materialet er installert og beskyttet i henhold til gjeldende designretningslinjer. EPS er et bearbeidet oljeprodukt av polystyren som er et aromatisk hydrokarbon med kjemisk formel $(C_8H_8)_n$ hvor n representerer antall repeterende enheter i polymerkjeden. Det er løselig i en rekke organiske løsemidler.

Foretak som produserer og leverer EPS-produkter i Norge er samlet i [EPS-foreningen](#) og er organisert i Norsk Industri, som igjen er en del av Næringslivets Hovedorganisasjon (NHO). Foreningen organiserer bedriftene som produserer og gjenvinner EPS, på folkemunne ofte omtalt som isopor

EPS består av 98 % luft i et nettverk av polystyren plast. Dette gjør at materialet er svært lett og isolerende. I tillegg har det høy mekanisk styrke og er formbart. Dette gjør at EPS er godt egnet til fiskekasser, som støtdempende emballasje og innenfor bygg området som isolasjon og lett materiale.

EPS produseres i flere trinn via granulat, små plastkuler, som ekspanderes og skummes sammen til en homogene blokk som etter behovskjæres til skiver i egnet størrelse.



Figur 3. Produksjon av ekspandert polystyren

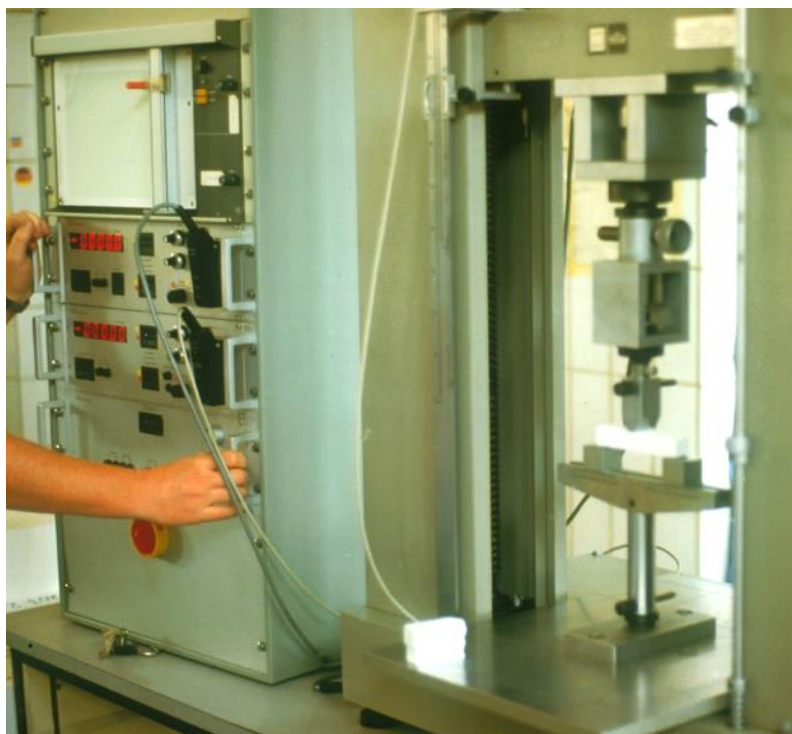
I bacheloroppgaven til Andersen mfl. (2011) Ekspandert polystyren i vegbygging – En tilstandsundersøkelse av tidligere EPS-fyllinger» Høgskolen i Østfold – Avdeling for ingeniørfag beskrives og forklares prosessen med å lage EPS blokker i detalj. [VD Rapport nr. 33., Ekspandert polystyren i vegbygging, – en tilstandsundersøkelse av tidligere EPS-fyllinger.](#)

3 Materialelegenskaper

3.1 Regelverk

I det første vegprosjektet i 1972 som benyttet EPS-blokker, bestemte Statens vegvesen at det skulle brukes et relativt enkelt sett med prosjekteringsregler. Disse reglene inkluderte en trykkfasthet bestemt ved 5 % deformasjon på 50 x 50 x 50 mm blokker. Reglene har blitt revidert flere ganger, men de opprinnelige kravene, som framkom i blankett 482, 483 og 484 fra Vegdirektoratet, er fortsatt i stor grad gjeldende, «[Use of Expanded Polystyrene in Road Embankents. Design Construction and Quality Control 1992](#)».

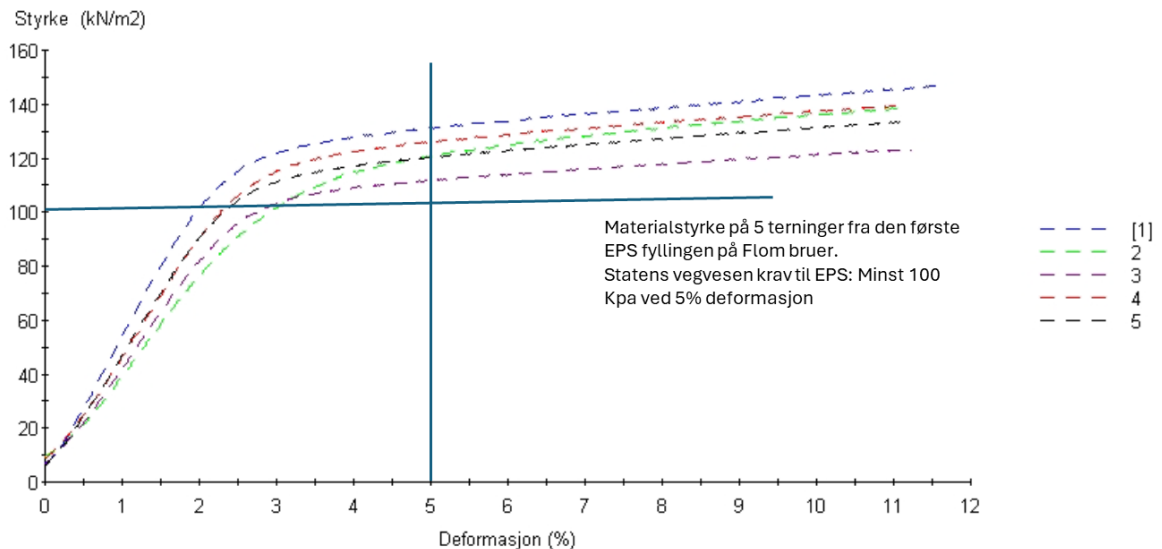
Kravene til materialet og bruken av ekspandert polystyren (EPS) er i dag regulert av NS-EN 14933. For gjenbrukt EPS anbefales det å følge de klassene/nivåene og egenskapene som er beskrevet i denne standarden. Det vises også til veiledning [R210 Laboratorieundersøkelser](#)



Figur 4 Kontroll av trykkfasthet

Dimensjonerende trykkfasthet for EPS, Figur 4, skal være minimum 100 kPa, målt ved 5 % deformasjon. Det er også spesifisert regler for akseptable variasjoner i materialstyrken, både innen samme blokk og mellom flere blokker. Dette omfatter bestemmelsen av materialstyrke, definert som trykkfasthet til en 50 x 50 x 50 mm kube

ved 5 % deformasjon, testet i et enaksialt trykkapparat med en deformasjons-hastighet på rundt 10 % av prøvehøyden per minutt. Et eksempel på styrke/deformasjonskurve for EPS testet på den første EPS fyllingen (Rv 159 Flom bruer) etter 52 år er vist i Figur 5, se også figur 8.



Figur 5. Materialstyrke av EPS målt i laboratoriet. Prøvene er fra den første EPS fyllingen (Flom bruer 1972) og er testet i 2024.

Med økt bruk av metoden både nasjonalt og internasjonalt, samt produsentenes økende interesse for slike bruksområder, har flere testmetoder blitt introdusert inkludert undersøkelser av dynamisk belastning blitt gjennomført. Andre land har utviklet noe endrede prosjekteringsregler, men det har ikke vært store avvik fra de opprinnelige kravene. Forskjellige blokkformer, som kuber og sylindere, har også blitt testet, med dimensjoner som varierer fra 50 mm til 100 mm, og til og med fullstørrelsesblokker.

Dette har ført til utviklingen av nasjonale og internasjonale standarder. I EU ble standarden EN 14933 "Termisk isolasjon og lette fyllprodukter for anleggsformål – Fabrikproduserte produkter av ekspandert polystyren (EPS) – Spesifikasjon" ([European Standard 14933 \(EN 2007\)](#)) tatt i bruk i Norge i 2008. I denne standarden er styrken til EPS-materialet definert ved 10 % deformasjon, testet på 50 x 50 x 50 mm kuber, men kravene ved 2 % og 5 % deformasjon er også inkludert. Densitet er ikke et krav i denne sammenhengen. Det pågår fortsatt diskusjoner om størrelsen på prøvene som skal testes, med argumentet om at større prøver bedre kan simulere

oppførselen til de helstøpte blokkene, men det foreligger ennå ingen klare svar. For å harmonisere kravene i EN 14933 med andre CEN-standarder og Eurokoder, har European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS) opprettet en arbeidsgruppe for å vurdere dette nærmere, [Eumeps Corporate – The voice of the European EPS industry](#).

Det er et klart behov for internasjonale standarder for å harmonisere materialkravene, slik at fri handel og rettferdig konkurranse kan fremmes. Innsatsen innen EU er et skritt i denne retningen, men for øyeblikket følger de fleste land utenfor Europa lokale nasjonale standarder, selv om noen også følger den europeiske standarden. Selv om de nasjonale standardene generelt har lignende krav, er det usikkert om en felles internasjonal standard vil bli etablert i nær fremtid.

I Norge er kravene i NS-EN 14933 innarbeidet i Vegnormal N200 Vegbygging, og veiledning og ytterligere detaljer er beskrevet i henholdsvis veiledning V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skjæringer og R210 Laboratorieundersøkelser.



Figur 6. EPS må beskyttes mot kjemisk og mekanisk påvirkning. Foto R. Aabøe, Statens vegvesen

EPS skal beskyttes mot kjemisk og mekanisk påvirkning som kan påvirke materialegenskapene. Ekspandert polystyren skal ikke inneholde bromerte flammehemmere og/eller stoffer av klorfluorkarboner (N200 Vegbygging).

Omfattende fullskala- og laboratorieforsøk har også blitt gjennomført i Japan for å undersøke materialegenskapene. I tillegg har bruken av EPS fyllinger og spesielt høye vertikale murer utsatt for jordskjelv blitt dokumentert. Informasjon om dette finnes tilgjengelig i referanselista til rapporten og på nettsider som er vist i Statens vegvesen rapport 1017, delrapport 1. I tillegg er det i kap. 6 i denne rapporten mer utfyllende informasjon om dynamisk oppførsel i EPS fyllinger basert på forsøk.

3.2 Bærekraftig bruk av EPS

EPS er ansett som et relativt bærekraftig materiale for å bygge veg under vanskelige forhold av flere grunner:

1. **Lav vekt og effektiv transport:** EPS er ekstremt lett i forhold til tradisjonelle fyllmaterialer, noe som reduserer behovet for tunge maskiner og transportkostnader. Dette fører til lavere drivstofforbruk og dermed lavere karbonutslipp under byggeprosessen.
2. **Redusert behov for utgravinger:** Ved bruk av EPS kan man redusere behovet for å grave ut store mengder masse, noe som bidrar til mindre landskapsinngrep og økt bevaring av landskapsområder.
3. **Lang levetid og motstandsdyktighet:** EPS er svært holdbart, har lang levetid og er motstandsdyktig mot både fuktighet og kjemikalier. Dette gjør at materialet krever lite vedlikehold og har lav risiko for å forårsake forurensning i lang tid.
4. **Energiforbruk i produksjon:** Sammenlignet med andre byggematerialer, har produksjonen av EPS et relativt lavt energiforbruk. Selv om EPS er et oljeprodukt, der produksjonen innebærer noen miljøpåvirkninger, er materialet generelt ansett som mer energieffektivt enn andre materialer brukt i vegbygging.
5. **Resirkulering:** EPS kan resirkuleres, og materialet kan gjenvinnes til andre formål etter endt bruk. EPS-produkter samles inn og brukes i nye produkter, som for eksempel isolasjonsmaterialer eller emballasje.
6. **Blockene kan gjenbrukes på nye prosjekter**
7. **Redusert massetransport:** Når det brukes til å stabilisere skråninger eller som fylling på ustabile grunner, kan EPS redusere behovet for massetransport som krever mye energi og ressurser.

Selv om EPS har mange bærekraftige fordeler, er det også viktig å merke seg at det er laget av oljebaserte produkter, som har miljømessige utfordringer knyttet til opprinnelse og produksjon. For å maksimere bærekraften, bør man sørge for optimalisering av konstruksjonene, effektiv resirkulering og gjenbruk.

Sammenfattende gir EPS en rekke miljøfordeler, men som med alle materialer, er det viktig å vurdere hele livssyklusen for å sikre best mulig bærekraft.

Nordic EPS Alliance (NEPSA) er et samarbeid hvor EPS-industrien i Norden fremmer bærekraftig bruk av ekspandert polystyren med fokus på:

- ✓ Styrking av sirkulær økonomi i EPS-industrien

✓ Økt resirkulering og gjenbruk

✓ Effektive løsninger for å redusere plastforsøpling

Med samlingen av kunnskap, teknologi og innovative løsninger på tvers av landene, er målet å styrke den sirkulære og bærekraftige utviklingen i Norden og regionens påvirkningskraft i Europa samt samarbeide med interessenter, myndigheter og næringslivet for å skape en grønnere fremtid med EPS som en del av løsningen. Her henvises det til: [NEPSA: Ny allianse som samler den nordiske EPS-industrien](#)

EPS Brukes til isolering av bygg, konstruksjoner og pakking av bl.a. fersk fisk. Med egenskaper som lav vekt og god isolasjonsevne, bidrar EPS til å redusere energiforbruk, minimere matsvinn og beskytte varer under transport. EPS som materiale er også enkelt å gjenvinne.

EPS gir vekstmuligheter i byggsektoren når Norden går over til en sirkulær byggeindustri og møter strengere krav for å redusere klimapåvirkningen fra bygninger. NEPSA skal fremme bedre innsamlings- og gjenvinnings løsninger for brukt EPS. Norden er allerede ledende på dette feltet, med resirkuleringsgrad for EPS-emballasje på nesten 90 % i Norge og 60 % i Danmark. NEPSA vil dele beste praksis innen EPS gjenvinning og bidra til å oppskalere slike løsninger i Europa og globalt. I SVV rapport nr. 1017, 1018 og 1019 er det vist både gjenbruk og resirkulering av EPS materiale i forbindelse med bruk av EPS i infrastrukturprosjekter

Gjennom partnerskap med den europeiske bransjeforeningen for EPS (EUMEPS), og Global EPS Sustainability Alliance (GESA) jobber NEPSA for å styrke EPS som et sirkulært materiale og som del av løsningen på de globale klimaspørsmålene.

4 Materialtesting

Basert på erfaringene fra de første EPS-fyllingene i Norge, ble det utviklet nasjonale spesifikasjoner som fastsetter krav til trykkfasthet, dimensjonerende tyngdetetthet, blokkstørrelse, samt retthet og jevnhet.

Det ble også igangsatt oppfølgingsprosjekter med gjentatte kontroller av blokker som hadde vært installert i bakken over tid. På bakgrunn av disse undersøkelsene ble kravene til dimensjonerende densitet justert til 100 kg/m³ for neddykkede blokker og 50 kg/m³ for blokker plassert over grunnvannstanden. Utførte målinger viser at blokkene opprettholder styrken over tid, og det er ikke observert noen forskyvning av blokkene. Oppfølging av konstruksjonene er gjort gjennom systematisk gjennomgang i hele EPS fyllingenes levetid for noen utvalgte konstruksjoner.

I etterkant har det blitt utviklet designveiledninger og materialstandarder i mange land verden over. De viktigste gjeldende standardene og veiledningene er beskrevet i «Statens vegvesen rapport nr. 1017. Del 1: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging. Forskning lønner seg»

4.1 Overvåkingsprogram

Overvåkingsprogrammet for bruk av ekspandert polystyren (EPS) har i løpet av 50 år hatt en systematisk tilnærming til innsamling og behandling av tilstandsdata.

Resultatene fra overvåkingsprogrammet har blitt dokumentert jevnlig gjennom hele perioden fra 1972 til 2024. Disse resultatene er hentet fra PhD oppgaver, masteroppgaver, hovedoppgaver og bacheloroppgaver og samlet i konferanseartikler og oppdaterte konferanseartikler fra de fem internasjonale konferansene.

I tillegg har overvåkingsprogrammet hatt et stadig voksende nettverk av internasjonale eksperter fra alle verdensdeler som har støttet og supplert arbeidet:

- Aabø R. (1979). [Bruk av lette fyllmasser i vegbygging. Diplomoppgave ved Institutt for vegbygging.](#)
- Brattensborg G. (1984). [Brage – Statens vegvesen: Ekspandert polystyren i vegbygging](#)
- Hjortset 1987, [Spenningsfordeling i EPS som konstruksjonsmateriale Diplomoppgave fra Institutt for geoteknikk og fundamenteringslære.](#)
- Andersen L-M., B., m.fl., (2011). [Ekspandert polystyren i norsk vegbygging – en tilstandsundersøkelse av tidlige EPS fyllinger. Bacheloroppgave fra Høgskolen i Østfold](#)
- Hermansen, S. (2012). [Anvendelser av EPS i vegbygging – med fokus på brofundamentering og myrbro NMBU](#)
- Brekke, L. M. M. (2016). [En studie av brofundamentering på EPS-fylling på bløt grunn NTNU 2016.](#)
- Aabø R., Frydenlund T. E., (2002). [Brage – Statens vegvesen: Publication no. 100: Lightweight filling materials for road construction \(unit.no\)](#)
- Aabø R., Frydenlund T. E., (2001). [Intern rapport 2209. EPS – Den lette løsningen.](#)

- Aabø R, Frydenlund T. E., (2011). [40 Years of Experience with the Use of EPS Geofoam Blocks in Road Construction \(Paper, EPS 2011, Norway\)](#)

Tabell 1. Prosjekter hvor EPS systematisk har blitt testet

Prosjekt	Byggeår	Lengde	Høyde	EPS-volum
E6 Årum – Hauge, Skjelinveien	1977	70 m	Maks 2,5 m	1700 m ³
Rv 154/Fv 154 Solbotmoan	1975	139 m	Maks 2,7 m	560 m ³
FV 32/ Fv 26 Sloravegen ved Langhus	1977	350 m	Maks 0,6 m	1800 m ³
Rv 159 Flom bruer	1972	170 m	Maks 1,5 m	1700 m ³
E6 Mosseveien v/Loenga	1983	90 m	Maks 5,5 m	5000 m ³
Rv 610 Sande Osen	1983	200 m	Maks 1,0 m	500 m ³
E6 Løkkeberg bru	1989	250 m	Maks 5,0 m	5000 m ³



Figur 7. Utgraving for prøveprogrammet med gravemaskin og motorsag og med varmetråd.. Foto fra Vd rapport 33 og masteroppgave Brattensborg G.

Siden det første forsøket med isolering ved bruk av EPS i Norge, og den første EPS-fyllingen som ble bygget i 1972, har EPS-fyllinger blitt overvåket med tanke på langtidsegenskaper og mulig nedbryting. Det har blitt utført et betydelig antall tester på en rekke ulike prosjekter. I Tabell 1 er de aktuelle prosjektene vist sammen med størrelse, omfang og tidspunkt for bygging. Prøvetakingen har vanligvis blitt utført med oppgraving med gravemaskin og kutting av blokkene med motorsag i hele blokker eller mindre biter. Det har også blitt forsøkt varmetråd, blant annet ved at en prøvetaker ble påmontert varmetråd, Figur 7.

Dataene fra prøvetakingen har stor usikkerhet og er preget av betydelig statistisk variabilitet. Prøvene er ikke hentet fra samme blokk og har blitt tilfeldig valgt ut ved hver måling, noe som gjør at de ikke er direkte sammenlignbare. Hver blokk har heller ikke nøyaktig kjente egenskaper, og spesielt i de første årene var kvaliteten på materialene fra leverandørene ujevn, og kontrollen av det leverte materialet var mangelfull. Dette gjør det vanskelig å fastsette en referansestart.

Likevel har disse undersøkelsene en stor verdi, da de peker i en retning som tyder på at materialet ikke har svekket seg, og at det ikke har utviklet egenskaper som gjør at konstruksjonen oppfører seg annerledes enn forventet.

Overvåkingsprogrammet har gjennom mer enn 50 år blitt oppdatert og egenskaper har på en systematisk måte blitt dokumentert og systematisert i henhold til Tabell 2

Tabell 2. Overvåkingsprogram og målte egenskaper

Tema	Undertema	Beskrivelse
Materialeegenskaper	Trykkstyrke	Beskriver materialets evne til å motstå belastning uten å deformeres eller brytes ned.
	Vannopptak	Måler hvor mye vann materialet kan absorbere, noe som kan påvirke både styrke og holdbarhet.
	Nedbryting / bestandighet	Vurdering av hvordan materialet reagerer på ulike miljøpåvirkninger over tid, for eksempel UV-stråling, fuktighet og temperatur.
Deformasjon og spenninger i EPS-konstruksjon	Total fyllingsdeformasjon	Total deformasjon av hele fyllingen i konstruksjonen under belastning.
	Deformasjon i EPS-lag	Hvordan EPS-lagene spesielt deformeres, både elastisk og plastisk, ved ulike belastninger.
	Krypeffekter	Langsiktig deformasjon av materialet over tid under konstant belastning (krypeffekt).
	Spenningsfordeling i EPS-fyllinger	Fordeling av de mekaniske spenningene i EPS-fyllingen, hvordan spenningene varierer gjennom laget.
	Horisontaltrykk	Påvirkningen av horisontale krefter på EPS-fyllingen, og hvordan disse håndteres av materialet.
Bæreevne og tilstandsvurdering	Bæreevne	Evaluerer av hvor mye last EPS-konstruksjonen kan bære uten å svikte eller deformeres uakseptabelt.
	Tilstandsvurdering	Vurdering av den nåværende tilstanden til EPS-konstruksjonen, inkludert slitasje, skade og forringelse over tid.

4.2 Undersøkelsesfrekvens

Siden 1972 har flere undersøkelser blitt utført for å overvåke mulige endringer i materialet. I den forbindelse er materialprøver hentet fra eksisterende fyllinger for å sjekke for mulige endringer i styrke og densitet. Variasjoner i vannopptak for EPS blokker som har ligget over, under eller delvis under grunnvannstanden er også blitt observert. For å bestemme spenningsfordeling i blokker og fyllinger, er det utført både laboratorietester og fullskalaforøk. Kryp-effekter under belastning er gjennomført både i laboratorium, fullskalaforøk og på eksisterende fyllinger

Tabell 3. Forsøksprogram – hyppighet av testing av EPS fyllinger

Embankment location	Constructed Year	Test samples retrieved				
		No. of years after construction				
National road 159 Flom bridges	1972 / 73	0	7	12	24	52
National road 154 Solbotmoan	1975	4	9	21	36	
County road 91 Lenken	1978	6				
County road 26 Langhus	1977	7			34	
National road 610 Sande – Osen	1982	9			29	
Løkkeberg bridge	1989		17			
Loenga bridge	1984		21			
E6 Årum – Hauge (Skjelinveien)	1977				34	

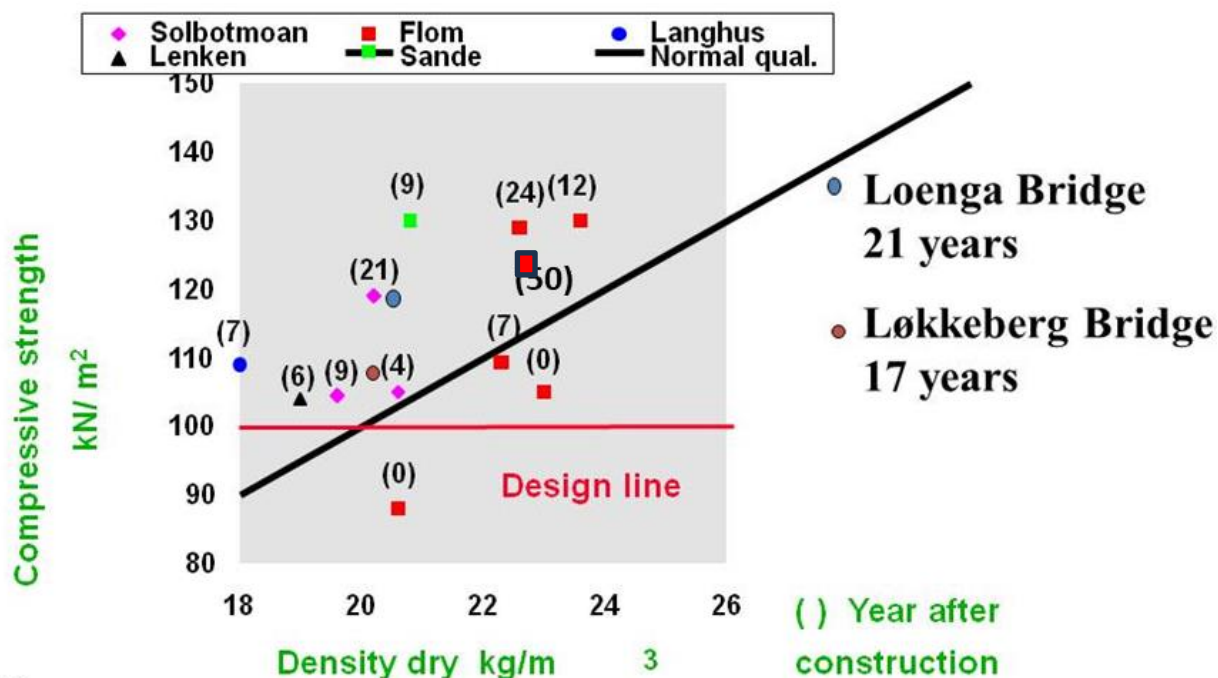
4.3 Resultater fra 50 års langtidsoppfølging av EPS

4.3.1 Materialets trykkfasthet

En indikator på mulig nedbryting av EPS blokker over tid ville være en reduksjon i materialets trykkfasthet. Ideelt sett skulle man ønsket at man kunne teste og sammenligne materialets styrke på samme blokk ved tidspunktet for konstruksjonen og en stund etterpå, men det er ikke praktisk mulig.

Trykkfasthetsmålinger utført på EPS prøver fra 8 vegfyllinger som har vært i funksjon i opptil 36 år. Noen prøver har ligget lagret i ytterligere 28 år i «kontorklima», dvs totalt 52 år) år er vist som funksjon av tørr densitet i Figur 8. Figuren viser at trykkfastheten i forhold til densitet er godt over det som er normalt for et kvalitets

materiale. Resultatene viser at det ikke er påvist styrkereduksjon over den målte tidsperioden.



Figur 8. Trykkfasthet på opptatte prøver fra EPS-fyllinger

Det er snarere tegn til økning i materialets styrke. En slik økning kan forklares med en pågående kjemisk reaksjon som førte til herding av materialet i de første ukene etter produksjon. Det er en tendens til at materialets styrke er noe høyere i midten av

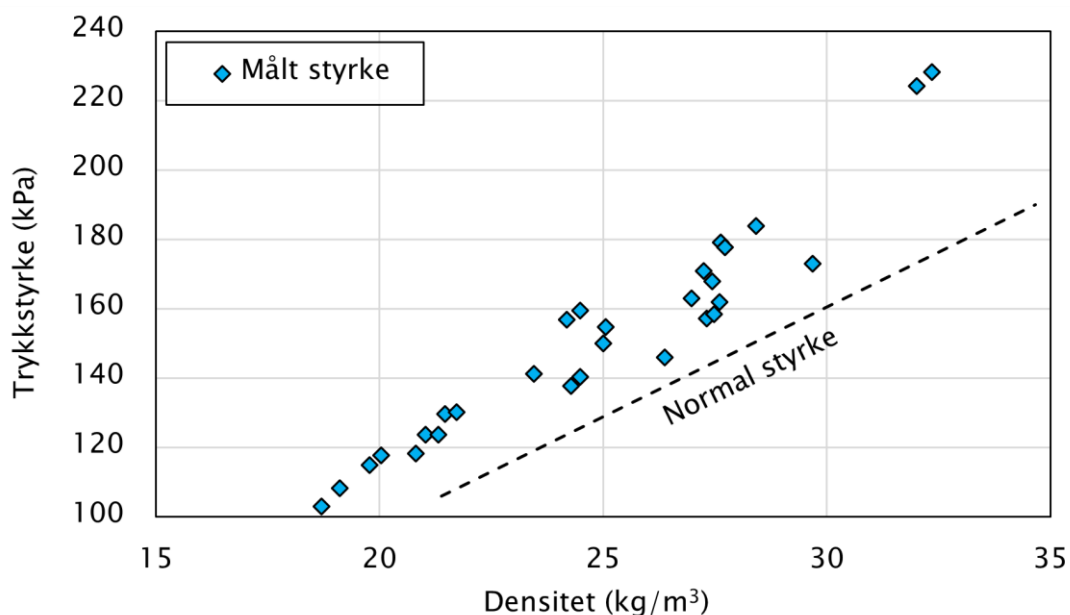


Figur 9. Utgraving av den første EPS fyllingen på Rv 159 Flom bruer. Foto Tor Helge Johansen

blokken enn mot de ytre sidene. Videre er det ingen tegn til variasjon i materialets styrke avhengig av om de testes våte eller tørre. Dette indikerer at vannopptak over tid i bakken ikke vil påvirke materialets styrke. Figur 9 viser utgraving av den første EPS fyllingen på Rv 159 ved Flom bru etter 24 år

Ifølge det norske regelverket (Vegnormal N200 Vegbygging) er den konstruktive trykkstyrken for EPS-blokker satt til minst $\sigma_5 = 100$ kPa (målt ved 5% deformasjon) når det ikke er angitt noe annet. Alle testresultatene på de opptatte prøvene viser trykkfasthet større enn dimensjonerende $\sigma_5 = 100$ kPa bortsett fra en test utført på prøver tatt fra den første fyllingen kort tid etter at den ble fullført i 1972. Dette er tolket mer som en indikasjon på variasjoner i EPS materialets kvalitet med produksjonsprosessen.

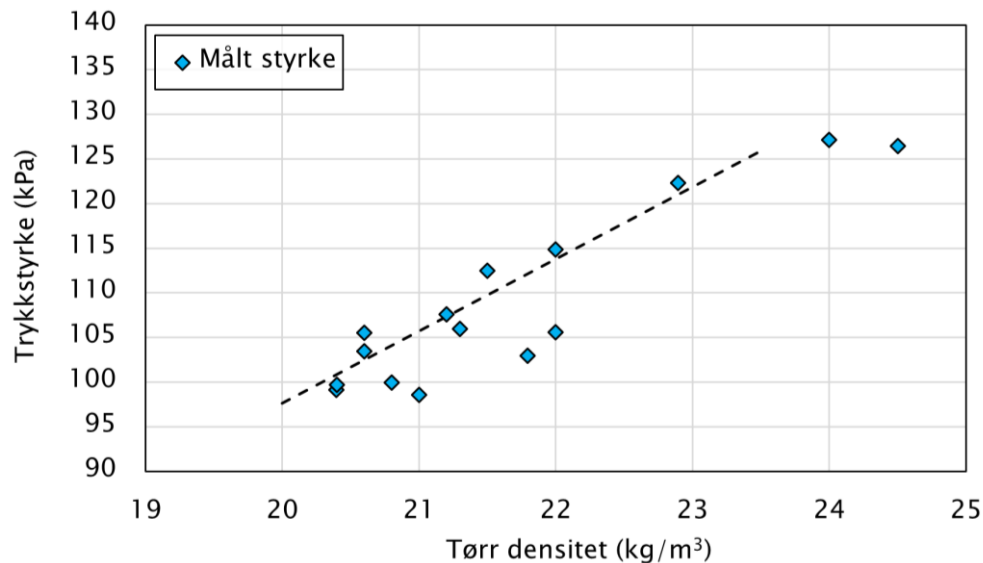
Prøver fra den første vegfyllingen (Flom bru) i 1972 er tatt etter 0, 7, 12, 24 og 52 år etter utlegging. Prøvene etter 52 år hadde vært lagret i «kontorklima» i 28 år og må betraktes som en kuriositet. Likevel stemmer de forbløffende godt med tidligere målinger. Trykkfasthet på de 5 testprøvene varierer mellom 112 kPa til 131 kPa med en klar sammenheng med densitet.



Figur 10. Loenga bru 1983 Trykkfasthet målt etter 21 år i en vegfylling.

I 2005 måtte størsteparten av "Loenga bru-fyllingen" fjernes på grunn av endringer i trafikksystemet i Bjørvika-området i Oslo. Utgravningen av EPS ble overvåket, og blokkene ble undersøkt av vegmyndighetene som del av overvåkningsprogrammet og fordi blokkene skulle gjenbrukes på andre byggeprosjekter i Oslo. Tester på prøver fra blokkene (Figur 9) viste en trykkfasthet vist med blått som er godt over det som er normalt og klare for gjenbruk i nye prosjekter.

Tilsvarende undersøkelse ble gjort i forbindelse med prøvene som ble tatt opp på myrbrua Fv 610 Sande – Osen i Sunnfjord. Her viser også testingen av tørkede materialer (tørr densitet) at trykkfastheten fortsatt korrelerer med antatt ideell designlinje for et EPS materiale av normal kvalitet (prikket linje). Gjennomsnittet av 15 prøver viser en trykkfasthet på 108,8 kPa, dette er godt over kravet til standard EPS på 100 kPa. Trykkfasthet økningen kan skyldes at EPS blokkene var relativt ferske ved legging, og at endring i den kjemiske strukturen kan forekomme de første ukene etter produksjon.



Figur 11. Grafisk framstilling tørr densitet mot trykkfasthet i EPS prøver fra myrbrua på Fv 610

I 2006 ble to midlertidige EPS konstruksjoner på E6 ved Halden (Løkkeberg bru og Hjelmungen Bru) fjernet på grunn av omlegging av E6 traseen, se «Statens vegvesen rapport nr. 1019. Del 3: Design og eksempler på bruk av ekspandert polystyren. Blokker fra disse konstruksjonene ble inkludert i overvåkningsprogrammet. 17 år etter utlegging viste målingene at trykkfasthet var godt over det som er normalt



Figur 12. Gjenbruk av EPS blokker fra Løkkeberg bru

(gjennomsnittsverdi $\sigma_5 = 104,6$ kPa for materiale med densitet 20 kg/m³). På bakgrunn av resultatene fra disse målingene ble det besluttet å gjenbruke mer enn 5000 m³ EPS-blokker på andre EPS-fyllinger, Figur 12.

4.3.2 Vannopptak i blokkene – densitet

«EPS er et ikke kapillært eller ikke sugende materiale. Materialet består av mange sammensmeltede celler. Cellene absorberer ikke vann, men derimot kan de små kanalene mellom cellene fylles opp. Siden kanalene er relativt små i forhold til cellene har tester vist at materialet maksimalt vil tiltrekke seg 5 % av sitt eget volum etter 28 dager». Roy Andersen (2011) hentet fra "EPS geofoam blocks, material properties and production prosess", [Ekspandert polystyren \(EPS\) i vegbygging | Statens vegvesen](#)

Med blokktykkelser på 0,5 m og blokker i flere lag vil temperatur-gradienten være meget liten og mulig vannopptak på grunn av kondensering av vanddamp er derfor tilsvarende liten. Vannopptak på grunn av vanntrykk og kapillært sug avhenger av materialets densitet og hvor godt kulene er sveiset sammen. Flere forsøk, i hovedsak på små prøver i laboratoriet, har vært utført i mange land for å undersøke vannopptakseffekter. Både kvaliteten av forsøkene og resultatene har store variasjonsområder. Måling av vannopptak i eksisterende fyllinger i Norge viser samsvar med noen av laboratorieforsøkene. Utover Norge er det ikke registrert langtidsmålinger på fyllinger av EPS hvor densitet og vanninnhold har blitt målt og hvordan dette endrer seg over tid.

I flere av master og bachelor oppgavene om EPS har opptak av vann i fyllingene og bestemmelse av dimensjonerende densitet vært sentralt og del av undersøkelsesprogrammet. Rapportene er gjengitt i Statens vegvesen rapporter nr. 1017. Del 1: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging.

Langtidsoppfølging av 8 vegfyllinger viser at der blokkene er lagt over høyeste grunnvanns- eller flomnivå er det ikke registrert vanninnhold i blokkene over 1 % volum etter mer enn 35 år i vegkonstruksjonen. Det ser heller ikke ut til at det er noen signifikant endring/økning i vanninnholdet over tid.

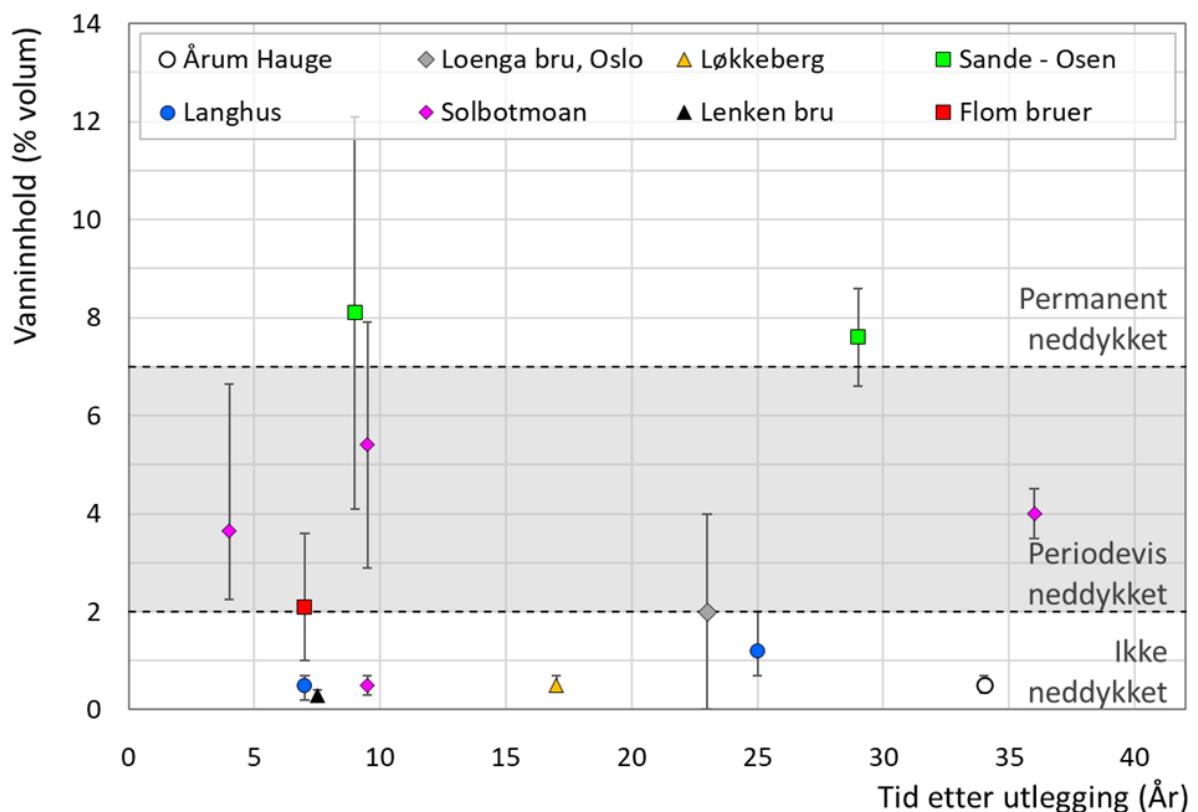
Prøver hentet fra ytre deler av blokker som vender mot terreng, kan lokalt ha høyere vanninnhold. Men bare 50 mm inn i blokken er vanninnholdet avtatt til under 1 % volum. Den registrerte gjennomsnitts densiteten av drenerte fyllinger overstiger ikke en densitet på $\rho < 30$ kg/m³. Dette er godt under dimensjonerende designverdi som er foreskrevet i prosjekteringsreglene for slike fyllinger.

I blokker som periodevis har vært neddykket er det målt vanninnhold opp til 4 volum prosent.

I permanent nedsenkede blokker har det blitt målt vanninnhold i størrelsesorden 10 volumprosent med noe økning med tiden, Figur 13. For nedsenkete fyllinger er gjennomsnittsdensiteten av størrelsesorden $\rho = 90 - 95 \text{ kg/m}^3$ omtrent 20 år etter utlegging.

Vanninnholdet avtar raskt over grunnvannsstanden/flomnivå og viser verdier som for drenerte forhold omtrent 20 cm over det høyeste målte vannivået.

En av få endringer i regelverket siden oppstarten som påvirker stabilitets- og



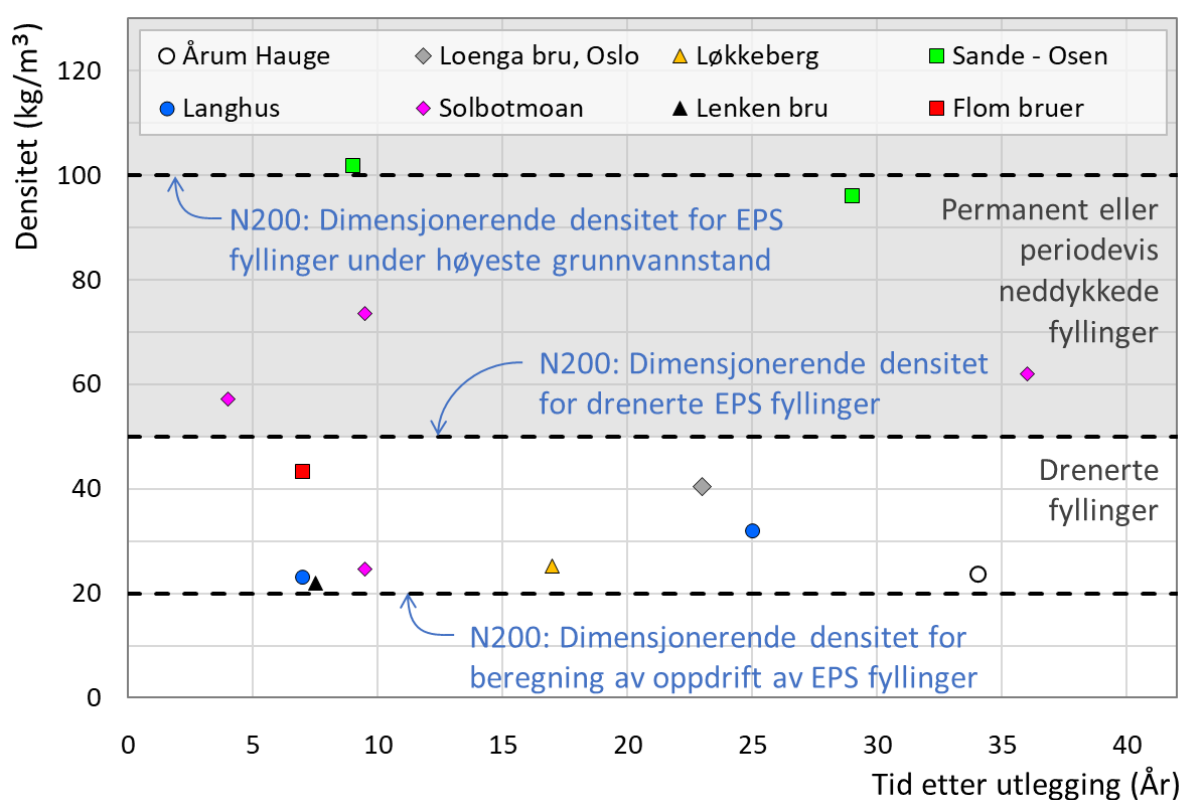
Figur 13. Volumprosent vann i prøver fra EPS fyllinger. Resultater fra måleprogrammet.

setningsberegninger og dermed prosjektering for EPS fyllinger er at dimensjonerende tyngdetettheten for EPS-blokker som ligger drenert er redusert: Reduksjonen er fra $\gamma = 1,0 \text{ kN/m}^3$ til $\gamma = 0,5 \text{ kN/m}^3$. For blokker under/ delvis under grunnvannstanden er dimensjonerende tyngdetetthet opprettholdt $\gamma = 1,0 \text{ kN/m}^3$. Endringen ble gjort som følge av langtidsoppfølgingen og testdata fra 8 EPS fyllinger. I Figur 13 er målinger fra disse 8 EPS fyllingene vist. Som det framgår av diagrammet, er det store variasjoner (maks og minimumsverdi er vist for hver måling) innad i de forskjellige

konstruksjonene. Dette avspeiler at noen av fyllingene er helt eller delvis neddykket og noen er periodisk neddykket. Punkter i den nederste sonen er konstruksjoner som til enhver tid ligger drenert og over flomnivå.

I Figur 14 er målt densitet fremstilt som et gjennomsnitt for fyllingene (fra de punktene som er målt) vist. Dimensjonerende designverdi for fyllinger som ligger drenert er angitt som 50 kg/m³ i regelverket (Vegnormal N200). Resultatene fra måleprogrammet viser at fyllinger som ligger drenert og aldri er i direkte kontakt med vann klart er under dette kravet.

Tilsvarende viser fyllinger som delvis, periodevis eller helt er neddykket også at densiteten etter opptil 35 år er under dimensjonerende densitet 100 kg/m³.



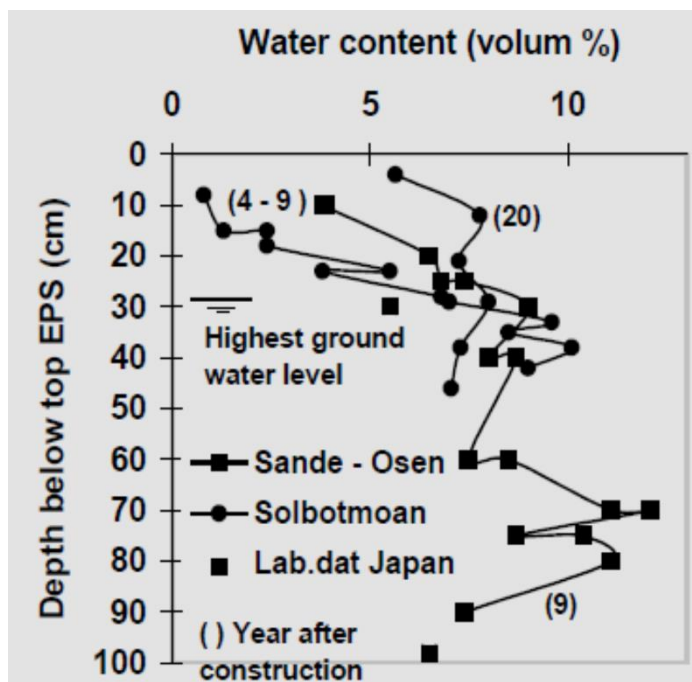
Figur 14. Målt densitet versus designverdi

Ved bygging av Fv 610 ved Sande i Sunnfjord ble det i forbindelse med kryssing av en myr (med potensielt store setningsutfordringer) etablert et system for å holde grunnvannstanden konstant 23 cm under topp av EPS fyllingen, se Statens vegvesen rapport nr. 1019. På denne måten har oppdriften i EPS blokkene balansert

setningsutfordringene. Mesteparten av denne EPS fyllingen har vært permanent neddykket siden konstruksjonen ble fullført i 1983 som vist i Figur 15.

Det er tatt ut prøver fra denne fyllingen i flere omganger (1992 og 2012) hvor trykkfasthet, densitet og vanninnhold har blitt undersøkt ved Statens vegvesen sitt laboratorium i Oslo. Her måles også små endringer over tid både med hensyn til vanninnhold og trykkfasthet. Testing av 31 prøver i 1992 viste en gjennomsnittlig trykkfasthet på 131 kPa med et vanninnhold på henholdsvis 6,9 % og 9,9 % for prøver tatt over og under grunnvannstand med et totalt snitt på 8,6 %.

Ved prøvetakingen i 2012 ble det hentet ut 15 prøver testet på samme laboratorium i Oslo. Denne gangen ble det målt et gjennomsnittlig vanninnhold på 7,6 %.



Figur 15. Vanninnholdsgradient gjennom en neddykket EPS fylling. Oppgraving av EPS fylling som har ligget neddykket i 9 år i Fv 610 ved Sande-Osen i Sunnfjord.

Hovedbudskap vedrørende vannopptak og densitet:

1. Det tar ikke lang tid før EPS blir vannmettet
2. Øvre grense for vanninnhold i EPS av standard kvalitet er trolig <14%
3. Tyngdetetthetskrav til EPS i N200 kommer fra grundige undersøkelser/vurderinger

Blokkene viser ikke tegn til nedbryting, hverken mekanisk eller kjemisk. For mer og detaljert informasjon vises det til:

[VD Rapport nr. 33., Ekspandert polystyren i vegbygging, – en tilstandsundersøkelse av tidligere EPS-fyllinger](#), [Intern rapport nr. 1646, Anvendelser av EPS i vegbygging – med fokus på brofundamentering og myrbro NMBU](#), [Intern rapport 2209 – Den lette løsningen. Rv 610 Steien – Osen](#) og [Intern rapport nr. 1646.](#)

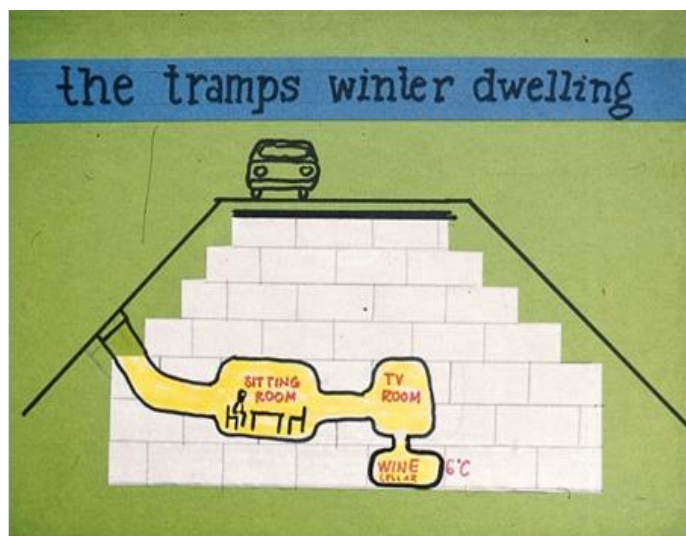
5 Nedbryting / bestandighet

I tiden som har gått siden den første EPS-fyllingen ble lagt i 1972 har det blitt foretatt flere målinger med hensyn på trykkfasthet og densitet, i drenert og neddykket tilstand som beskrevet tidligere. Generelt viser disse målingene at EPS materialet er stabilt og har svært gode langtidsegenskaper dersom det behandles som foreskrevet i Vegnormal N200 Vegbygging..

EPS er et helsyntetisk materiale som er svært bestandig mot aldring, dersom det blir utsatt for sollys vil overflaten gulne etter en stund. Dette laget får da en sprø kvalitet, men grunnet den minimale tykkelsen har ikke dette noe å si for styrken til materialet.



Figur 3.11: EPS angrepet av insekter (skadedyrkontroll.biz, 2011).



Figur 16. EPS har ingen næringsverdi for dyr /insekter. Illustrasjon: Refsdal G. Foto: Skadedyrkontrollen.

EPS har ingen næringsverdi for dyr og insekter, Figur 16, men yter heller ikke motstand mot dyr og insekter som ønsker å bruke det til eget formål. EPS fyllinger er vanligvis grundig tildekket med blant annet armert betong på toppen og membran på sidene. I norsk sammenheng anses dette derfor sjeldent eller aldri som et problem og det er ikke registrert slike type skader i Norge.

Flere av isolasjonsmaterialene som ble brukt i tidlig fase inneholdt KFK holdige drivgasser som på et tidspunkt truet ozonlaget før disse ble forbudt internasjonalt. Ekspandert polystyren har alltid blitt produsert uten KFK holdige drivgasser og derfor uriktig blitt framstilt som en av utslippssynderne.

EPS er et brennbart materiale, og for å forhindre brannulykker ble det en periode lagt til et flammehemmende middel eller bromert flammehemmende stoff (BFR) i EPS-materialet under produksjonsprosessen. På begynnelsen av 2000 tallet var det både i Norge og internasjonalt bekymringer med hensyn til bruken av dette bromerte flammehemmende stoffet i EPS materialet.

På E6 Hjelmungen og E6 Løkkeberget bru ble det tatt prøver og funnet tilstrekkelig data under vegfyllingene med EPS til å gjøre en risikovurdering, Figur 17. Det var også mulig å beregne veiledende verdier for jord og overflatevann for de to fyllingene. Dette er beskrevet i artikkelen: “Environmental risks assessments of flame-retardant found in EPS bridge embankments. Arnt-Olav Håøya (Ecoloop AS), Kim Haagensen (Rambøll Denmark AS), Roald Aabøe (Norwegian Public Roads Authorities)” ([eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)).

Risikovurderingen har vist at begge BFR-forbindelsene, HBCD og penta-BDE, forventes å kunne akkumuleres i næringskjeden. Videre er den akutte toksisiteten for pattedyr for begge forbindelsene lav, mens toksisiteten for alger og vannlopper er høy. Forbindelsene har lav løselighet, lav damptrykk og høy affinitet til organisk karbon som resulterer i svært lav mobilitet i miljøet. Dette støttes av analyserte jordprøver i link over

På grunn av den svært lave mobiliteten i miljøet og evnen til å bioakkumulere i næringskjeden, forventes de kritiske eksponeringsveiene for mennesker å være inntak via mat eller via jord (støv) på et forurensset område. Disse forventningene bekreftes av resultatene fra beregningene i [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)

Prøvene tatt ved Løkkeberg og Hjelmungen bru og analysert av AnalyCen AS konkluderer med:

- Innholdet av HBCD i EPS-blokkene er høyt og på et nivå som er sammenlignbart med det forventede innholdet basert på produksjonsinformasjon
- Innholdet av HBCD i jorden under EPS-blokkene var under deteksjonsgrensen (0,2 mg/kg DM), som også er nivået for veiledende verdi fra 2006, og mer enn 10 ganger lavere enn EU PNEC-verdien fra 2008.



Figur 17. Jordprofiler under EPS fylling på Løkkeberg bru. – Photo: Tor Helge Johansen, NPRA, 2006.

- Risikoen for eksponering av mennesker og miljø for HBCDD er lav når EPS brukes til bygging, i veg og når det rives. EPS ved slutten av levetiden skal håndteres som farlig avfall i henhold til nasjonale forskrifter.

- PBDE-er ble ikke påvist i EPS-blokkene, kun i de øvre jordprøvene.

- Innholdet av penta-BDE i jordprøvene var under 0,1 mg/kg DM, som er mer enn 3 ganger lavere enn veiledende verdi. Dette konsentrasjonsnivået er lavere enn den forutsagte regionale miljøkonsentrasjonen i landbruksjord.

EPS som brukes i vegkonstruksjoner er i dag med brennbarkvaliteten (uten

bromidtilsetting). Ved forskriftsmessig bruk og ved å følge kravene i N200 Vegbygging utgjør ikke EPS noen brannrisiko. Vedvarende flammer mot EPS kan gi antenning. Dersom EPS brenner, er det med en sotende flamme og alle brannslukningsmidler kan benyttes. Dersom en brann i EPS materiale likevel skulle oppstå er EPS ikke mer forurensende enn vedfyring.

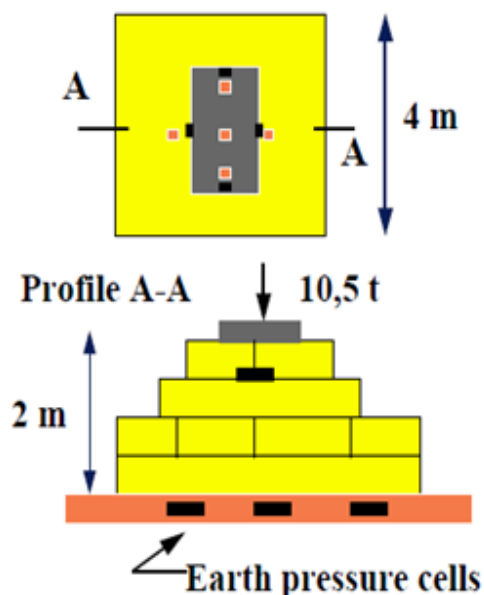


Figur 18. Brann i en EPS fylling under bygging, E6 ved Vestby. Foto Statens vegvesen

6 Instrumenterte konstruksjoner

6.1 Modellforsøk i Veglaboratoriets forsøkshall

I et modellforsøk, (Figur 19) utført i forsøkshallen på Veglaboratoriet ble en testfylling med en høyde på 2 m med EPS blokker med trykkfasthet $\sigma_5 = 100$ kPa belastet med en last på 52,5 kPa for å se på krypdeformasjoner og spenningsfordeling gjennom en EPS fylling under forskjellige belastninger ([Intern rapport nr. 1645 ,Roald Aabøe, Deformasjongegenskaper og spenningsforhold i fyllinger av EPS \(2\).pdf](#)).



Figur 19. Modellforsøk med EPS blokker for å se på deformasjon, kryp og spenningsfordeling. (Foto: R. Aabøe)

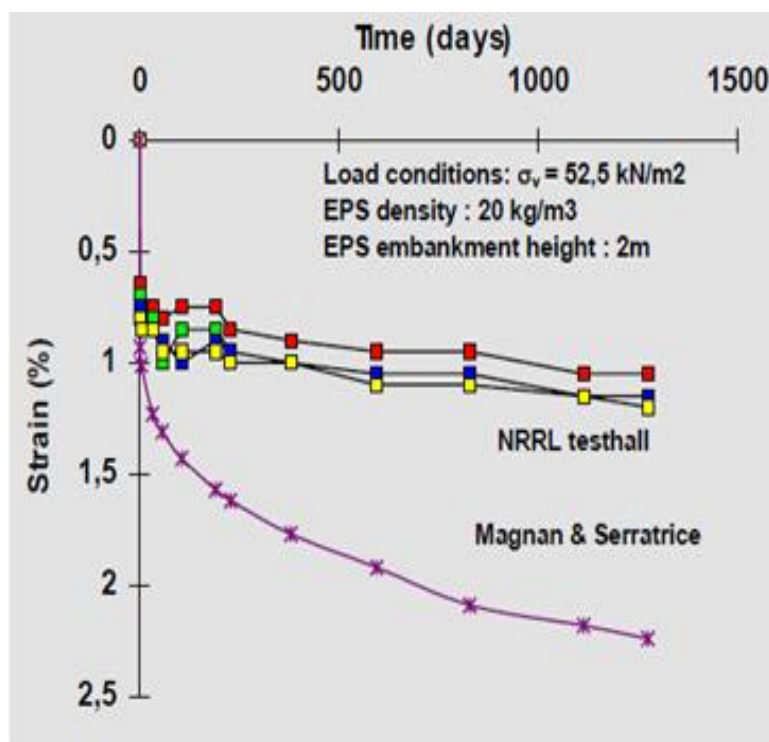
Resulterende deformasjonene og spenningsmålinger ble målt og observert over en periode på 3 år.

Forsøkene skulle ideelt sett vært utført i forkant av direktefundamenteringen på E6 Løkkeberg bru for å hente kompetanse og erfaring i å bygge en slik konstruksjon, men ble utført omtrent parallelt og erfaringene er sammenstilt i denne rapporten.

Det ble totalt utført 4 forsøk deriblant ett forsøk med en EPS fylling som ble belastet til brudd (opp imot 100 kPa). Det ble registrert store plastiske deformasjoner i øverste blokk på den 3 m høye fyllingen i tillegg til at eksentrisitet førte til ytterligere deformasjon. Deformasjonene i resten av fyllingen var vesentlig mindre enn man kunne ha forventet.

I denne rapporten beskrives kun forsøk 4. Det vises til Intern rapport 1645 (se over) for mer informasjon.

Fyllingen i forsøk 4 ble instrumentert med jordtrykksmålere og deformasjoner i EPS laget ble observert over en periode på nærmere 3 år. I henhold til regelverket skal det utnyttes bare ca 30 % av materialstyrken når det gjelder permanente laster, dvs $q_d < 30$ kPa. I noen tilfeller har en likevel tillatt høyere utnyttelse av materialstyrken relatert til permanente laster. I dette tilfellet ble blokkene belastet med $q = 52,5$ kPa med stålplater. Underlaget besto av 15 cm sand på betongdekket og har ingen setningsforskjell under fyllingen.

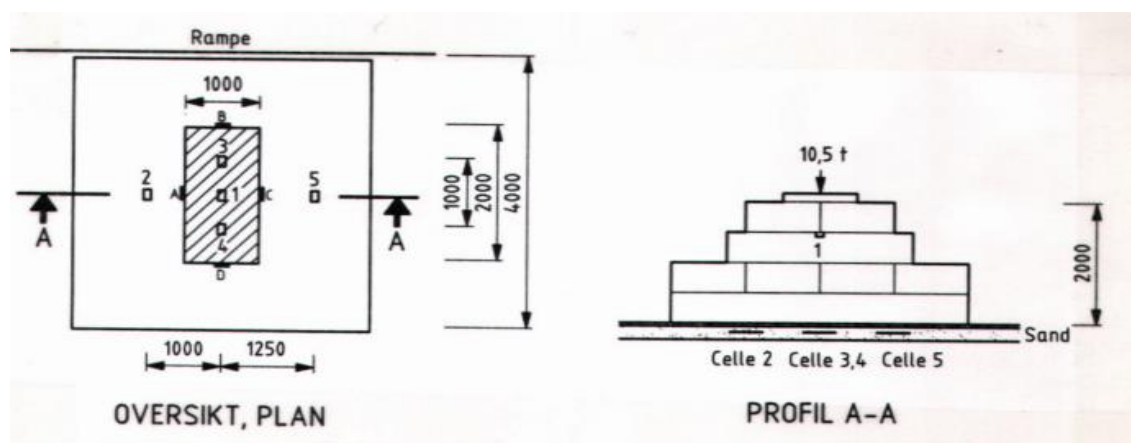


Figur 20. Deformasjon og krypmålinger fra forsøks-hallen sammenlignet med teoretiske beregninger

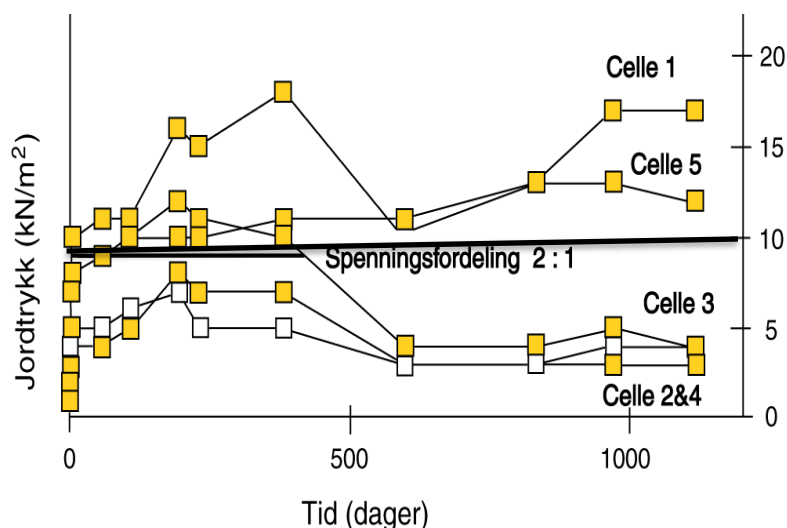
Forsøket ble fulgt opp med jevnlige målinger som viste deformasjoner under 50% av beregnede deformasjoner i henhold til teorigrunnlaget introdusert av Magnan &

Serratrice og vesentlig mindre krypdeformasjoner over tid. Resultatene er vist i Figur 20 sammen med beregnede deformasjoner som kan forventes i henhold til teoriene som ble introdusert av Magnan & Serratrice.

De målte spenningsnivåene er relativt lave, men indikerer at spenningsfordelingen kan ligge innenfor en gradient 2:1 målt fra kanten av lasteområdet. Avhengig av stivheten til lasteområdet og mulige belastningseksentrisiteter kan det imidlertid oppstå lokale spenningskonsentrasjoner. I Figur 22 er spenningsnivået i bunnen av fyllingen med distribusjons-gradient 2:1 indikert med en svart linje og kan sammenlignes med spenningsnivåene i celle 2,3,4.



Figur 21. Plassering av jordtrykksceller.

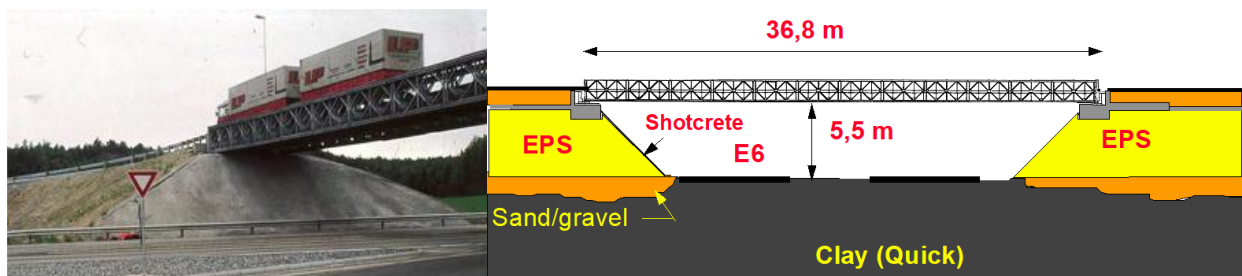


Figur 22. Spenningsfordeling fra skala forsøket i Veglaboratoriets forsøkshall

6.2 Fullskala forsøk på E6 Løkkeberg bru med langtidsoppfølging av deformasjon, kryp og spenningsfordeling.

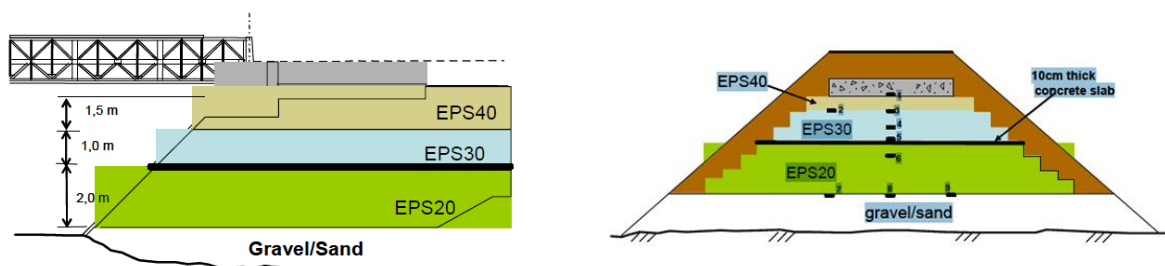
6.2.1 Konstruksjonen

Løkkeberg bru var en ettfelts Acrow-stålbru med et enkelt spenn på 36,8 m som krysser E6 nær den svenske grensen. Brua ble bygget i 1989 for å midlertidig forbedre trafikksikkerheten til fullføringen av en ny motorveg mellom Norge og Sverige, med en planlagt driftstid på 3–5 år. På grunn av lav bæreevne og forventede store setninger, ble lette fyllingsmaterialer (EPS) brukt i fyllingene ved siden av brua, se Figur 23.



Figur 23. Lengdeprofil av Løkkeberg brua. Figur og foto; Roald Aabøe

Prosjektet ga mulighet til å plassere brufundamentet direkte på toppen av EPS-fyllingene (høyde 4,5 og 5 m) som et alternativ til å plassere fundamentene på peler. Siden brua var en midlertidig løsning og mulige deformasjoner kunne justeres i driftsperioden, ble det besluttet å gjennomføre prosjektet som en fullskala test.



Figur 24. 3 forskjellige kvaliteter av EPS er brukt i fylling under landkaret.

Tre forskjellige typer EPS-materialstyrke (Figur 24) har blitt brukt med designstyrker på $\sigma_5 = 240$ kPa i øvre lag direkte under brufundamentet, $\sigma_5 = 180$ kPa i gjenværende lag halvveis ned i fyllingen og $\sigma_5 = 100$ kPa i den nedre halvdel. I det

øvre laget har bare 25 % av materialet styrken blitt utnyttet, mens det tilsvarende tallet i det nedre laget er 60 %.

Brua var i drift i 17 år etter ferdigstillelse. Ingen tegn til sprekker eller ujevn deformasjon ble observert. Fundamentet ble løftet 30 cm på en side på grunn av setninger i undergrunnen i samsvar med teoretiske beregning. I juni 2006 ble brua fjernet og EPS blokkene gjenbrukt i forbindelse med utvidelsesarbeider for E6 i samme område. Prosjektet er beskrevet i Del3 av denne rapportserien om EPS.

6.2.2 Deformasjoner



Prosjektet ble gjennomført som en fullskala test etter at det var verifisert at løsningen var mulig å gjennomføre og eventuelle deformasjoner kunne håndteres i driftsperioden. Løkkeberg Bru, vist i Figur 25 har gitt en god mulighet for overvåking av langtids-egenskaper som kryp og spenningsfordeling i en EPS-fylling.

Figur 25. EPS fylling og landkar for Løkkeberg bru I hele perioden ble konstruksjonen fulgt opp med instrumentering og målinger både underveis og under demontering. Konstruksjonen fungerte som planlagt og både setnings- og bruksmessig var løsningen vellykket. Det ble ikke registrert sprekker eller ujevne bevegelser i konstruksjonen i perioden.

Deformasjoner har blitt målt med totalt 4 teleskopmålere gjennom EPS laget både under anleggsarbeidene og over tid. I tillegg er det montert slangesetningsmålere i 2 forskjellige nivåer for å se på deformasjoner i tverrprofilet. Målingene viser godt samsvar når det gjelder totale setningene og deformasjon i hele EPS fyllingen.



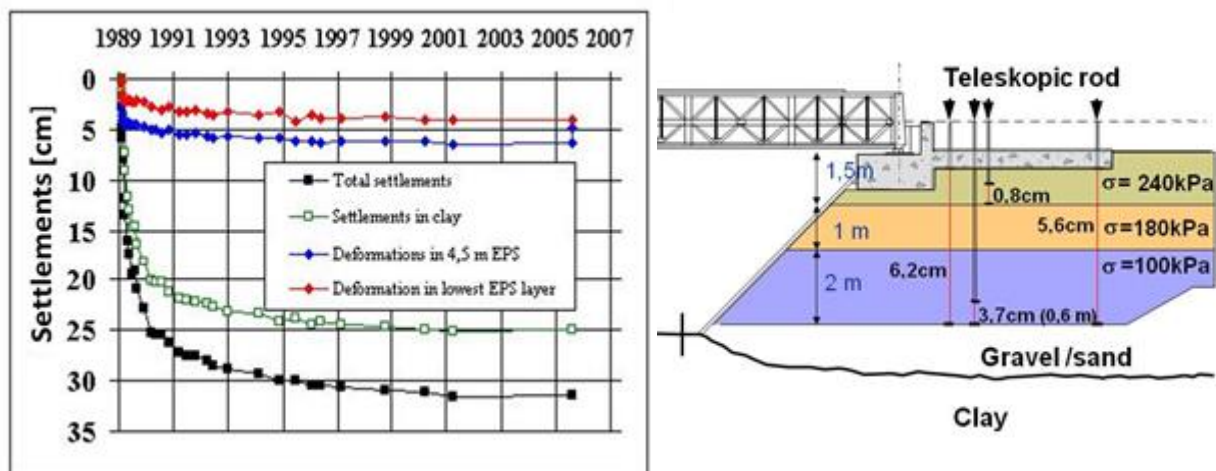
Figur 26. Landkaret ble hevet med 30 cm

Totalsetningene (inkludert deformasjonen i EPS blokkene) var beregnet til totalt 30 cm i brukstiden for konstruksjonen. Etter 6 år

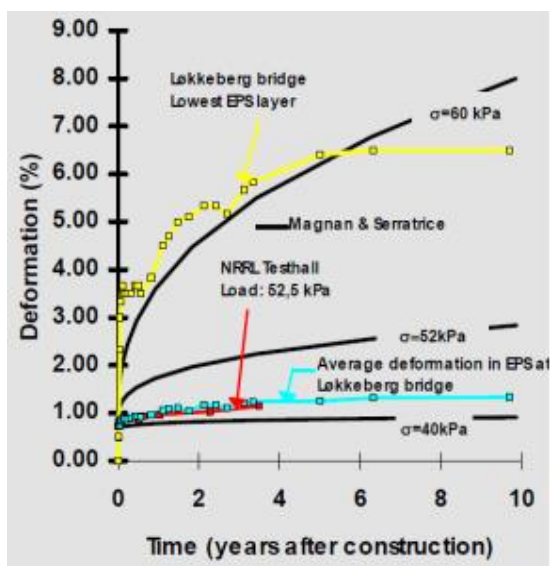
var det målt setninger i denne størrelsesorden og brua ble jekket opp med 30 cm for å forlenge bruens levetid med ytterligere minst 5 år.

Deformasjonsmålingene viste bare små deformasjoner på ca. 6 cm (1,3 % av EPS-høyden) i fyllingen. Størparten av deformasjonen ble unnagjort under byggefasen, og krypdeformasjoner som ble målt var svært lave. Deformasjon og krypdeformasjon for hele EPS fyllingen og for det nederste EPS laget er vist Figur 28. Det siste plottet for 2006 av deformasjoner i EPS-fyllingen er estimert fra observasjoner fra slange setningsmålerne, siden noen av teleskoprørene ble skadet under fjerning av brua.

Observerte deformasjoner etter 10 års bruk er plottet i Figur 27 sammen med data fra modellforsøk og teoretiske verdier fra Magnan & Serratrice beregnet for ulike spenningsnivåer. Figuren viser at gjennomsnittsdeformasjonen ved Løkkeberg Bru er liten og kun litt over 1 % av total fyllingshøyde.



Figur 28. Setninger og deformasjoner i EPS fylling og undergrunn



Figur 27. Observerte data sammenlignet med modellforsøk og teoretiske beregninger (Magnan & Serratrice)

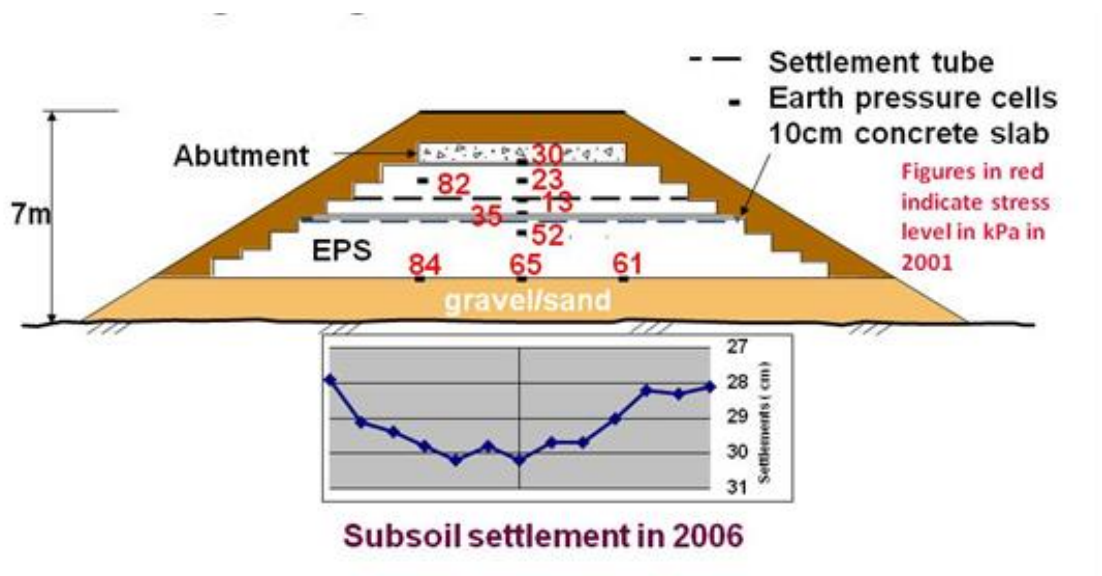
Observerte krypdeformasjoner er nesten ubetydelige for hele EPS fyllingen, selv om deformasjonene i det nedre blokklaget var 4 % i byggefasen og senere krypdeformasjoner utgjør ytterligere 2,5 %.

Krypdeformasjoner i det nedre laget samsvarer med de teoretiske verdiene de første 5 årene, men flatet ut og avtok nesten til null de siste årene.

Under fjerning av brua og utgravning av fyllingen i 2006 viste både slangesetnings – målerne og teleskopinstrumentet som måler blokktykkelse på bunnen av fyllingen noe ekspansjon. Kort tid etter belastnings –reduksjon kunne det observeres omtrent 2 cm ekspansjon i blokkene, med hoveddelen i det laveste laget.

6.2.3 Spenninger i konstruksjonen

For å observere spenningsfordelingen i EPS-materialet under landkaret på Løkkeberg bru under konstruksjonen og over tid, ble 10 hydrauliske jordtrykkceller plassert på forskjellige nivåer i fyllingen, inkludert 3 celler i sandlaget under EPS-fyllingen. I Figur 29 er de målte spenningsnivåene etter 10 års bruk indikert med røde tall.



Figur 29. Løkkeberg Bridge. Observerte spenningsfordeling og setninger i tverrsnittet.

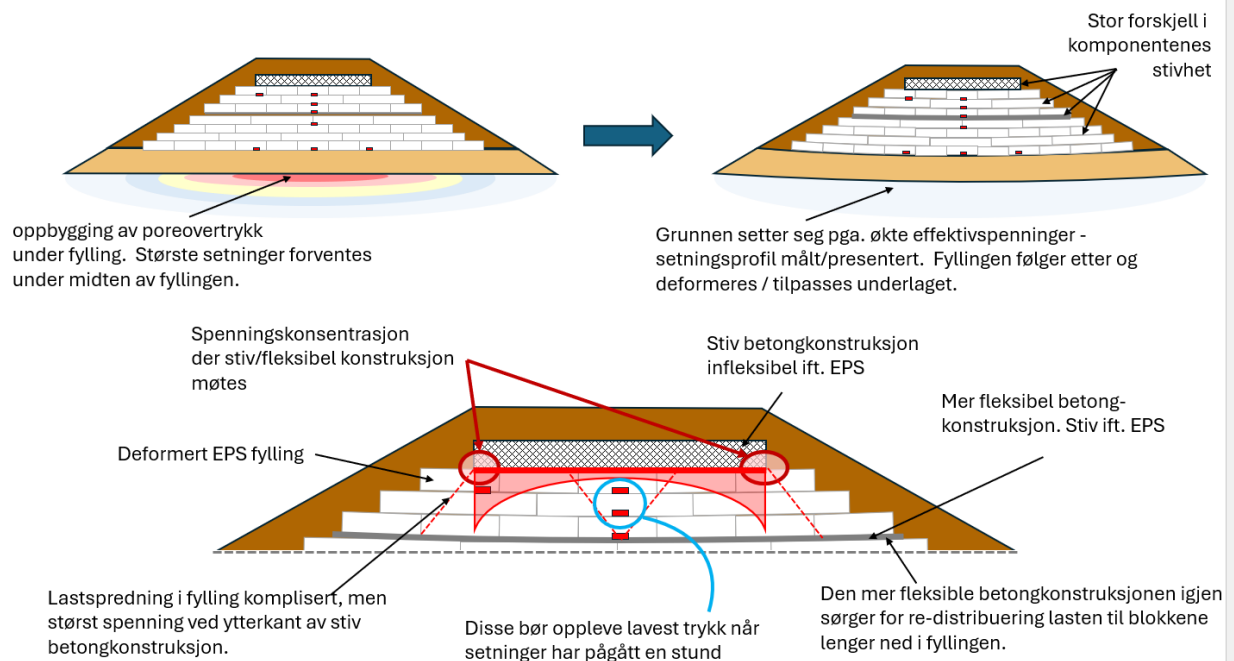
Observasjonene indikerer at randeffekter kan ha påvirket spenningsresultatene, spesielt i den første belastningsfasen, sannsynligvis på grunn av dårlig samspill mellom EPS og stålrørene for jordtrykkcellene.

Langtidsmålinger fra 3 jordtrykkceller under fyllingen og en plassert 2 m høyere oppe er plottet i Figur 31. Under det første driftsåret ble det observert en spennings reduksjon på 15 – 30 %. Senere har det bare blitt observert små variasjoner over tid.

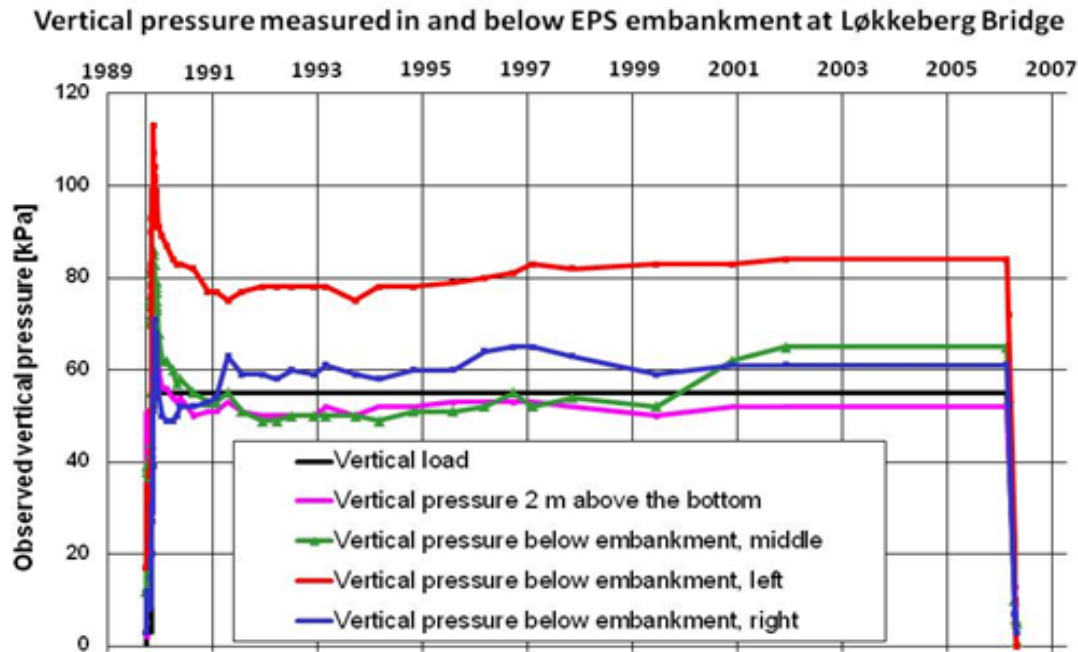
Målte trykk på 50 kPa samsvarer godt med den teoretiske vertikale lasten i den nedre delen av EPS-fyllingen. I den øvre delen av fyllingen (med høyere materialet styrke) er det målt lavere spenninger enn forventet i en sone under den sentrale delen av fyllingen. En forklaring kan være en archingeffekt på grunn av store setninger i undergrunnen på midten av fyllingen. Dette kan tydelig sees i Figur 29 der målingene fra slangesetningsmåleren vises.

Endringer i setningene mellom 2001 og 2006 varierer bare med noen få millimeter. Fyllingens målte spenningsfordeling stammer fra samspill mellom komponenter med forskjellige stivhetsegenskaper, og grunn som setter seg ulikt under fyllingen.

Konsentrasjon av belastning og deformasjon i det laveste EPS-laget, samt de lave spenningsverdiene i den øvre delen av EPS-fyllingen er trolig et resultat av forskjellige stivheter og setningsutviklingen under fyllingen, se Figur 30.



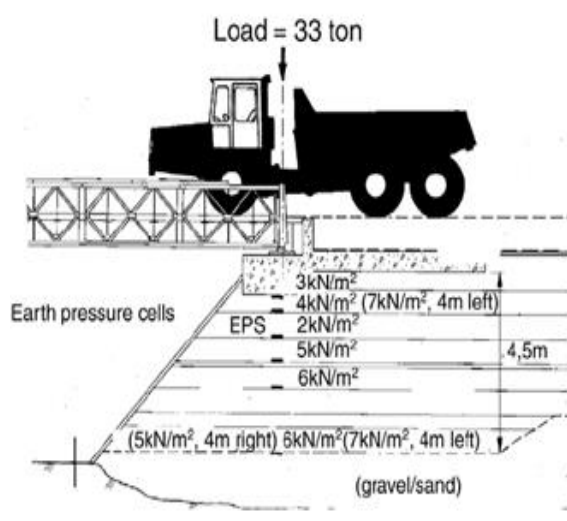
Figur 30. Mulig forklaring på spenningskonsentrasjoner. Figur S.Valsson, Statens vegvesen



Figur 31. Langtidsmålinger av vertikale trykk ved Løkkeberg Bridge

Jordtrykkcellene ble testet i forbindelse med at de ble frigravet da EPS fyllingen ble fjernet og viste da riktige avlesninger.

En 33 tonnns dumper ble plassert på forskjellige avstander fra landkaret for å verifisere jordtrykksmålingene, Figur 32. I tilfellet hvor dumperen står med hele tyngden på fundamentet skulle dette tilsi en spenningsøkning på 6 kPa. De målte spenningsøkningene i de forskjellige fyllingsnivåene med den ekstra belastningen fra dumperen samsvarer godt med spenningsfordelingen uten dumperen. Økningen i



Figur 32. Verifikasjon av jordtrykksmålinger med en tilleggslast fra en dumper

spenningsnivåer fra dumperen vises i Figur 32. Den samme tendensen til redusert vertikalt trykk i en sone under landkaret ble også observert her. Etter at dumperen var fjernet returnerte trykkcellene umiddelbart til de tidligere spenningsnivåene.

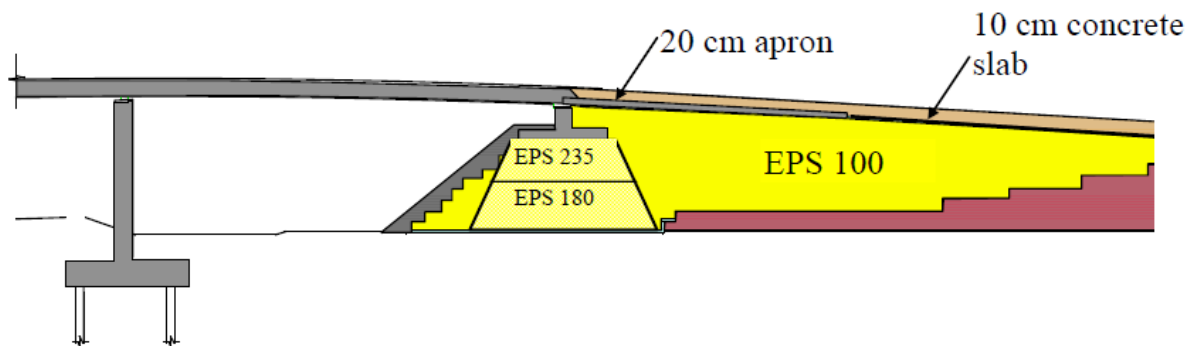
6.3 E6 Hjelmungen bru (inkludert reparasjon i 1996 og utvidelse i 2006).

Hjelmungen bru som krysser E6 litt nord for svenskegrensen, Figur 33, er en betongplatebru med tre spenn, 54 meter lang, med kontinuerlig betongdekke, ferdigstilt i 1992 med brufundamenter og søyler grunnlagt på betongpeler til fast grunn og tilløpsfyllinger på terreng med vanlige fyllmasser og noe avfall fra produksjonen av Leca-blokker.

Kort tid etter ferdigstillingen viste det seg at bæreevnen under tilløpsfyllingen sviktet med påfølgende store setninger og at landkaret hadde forskjøvet seg og skadet brua.

Det ble besluttet å redusere belastningen på undergrunnen med inntil 40 kPa for å gjenopprette de opprinnelige spenningsforholdene. Erfaringene som var hentet fra Løkkeberg bru gjorde at Statens vegvesen kunne erstatte deler av fyllingen med EPS-blokker og et nytt landkar ble etablerte direkte på EPS fyllingen, Figur 33. De opprinnelige pelene ble kappet i terrengnivå.

3 forskjellige typer EPS ble brukt. I sonen direkte under landkaret, ble det spesifisert en materialkvalitet på $\sigma_5 = 235$ kPa for de tre øverste blokklagene. Lenger ned ble det spesifisert en materialkvalitet på $\sigma_5 = 180$ kPa.



Figur 33. Hjelmungen bru. Reparasjon av eksisterende bru med fundamentering direkte på EPS.

I resten av EPS-fyllingen ble en materialkvalitet på $\sigma_5 = 100$ kPa brukt. Materialkvaliteten ble bestemt basert på evaluering av spenningsfordelingen i materialet for å holde spenningsnivået for permanentlastene innenfor 30 % av materialets styrke. Strammere geometriske krav enn normalt ble også håndhevet med hensyn til blokkdimensjoner for å oppnå en jevn fylling og redusere initielle deformasjoner når lasten fra landkaret ble overført til EPS fyllingen.

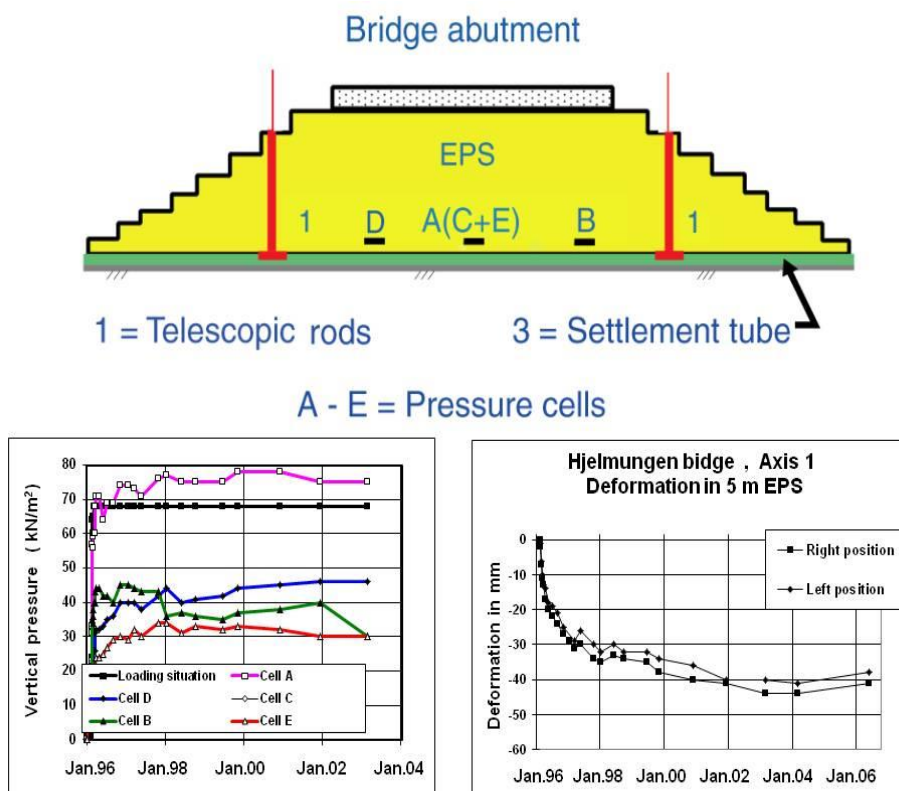


Figur 34. Hjelmungen bru. Utvidelse av E6/nytt fundament på EPS. Foto: T. H. Johansen

Det ble installert både slangesetningsmålere, teleskopstenger for å måle lagdeformasjon og jordtrykksmålere for å overvåke den rekonstruerte brua.

Før utbedring ble det målt en setningshastighet på 10 cm per år i tilløpsfyllingen som etter reparasjonen var redusert til ubetydelige setninger. Etter 5 år

ble det observert at deformasjonen som er målt i EPS-fyllingen var på 3,5 cm, noe som tilsvarer 0,7 % av fyllingshøyden (Aabøe og Frydenlund, 2001). Det konkluderes med i internrapport 2209 at prosjektet med å rehabilitere fyllingene under landkar har lyktes.



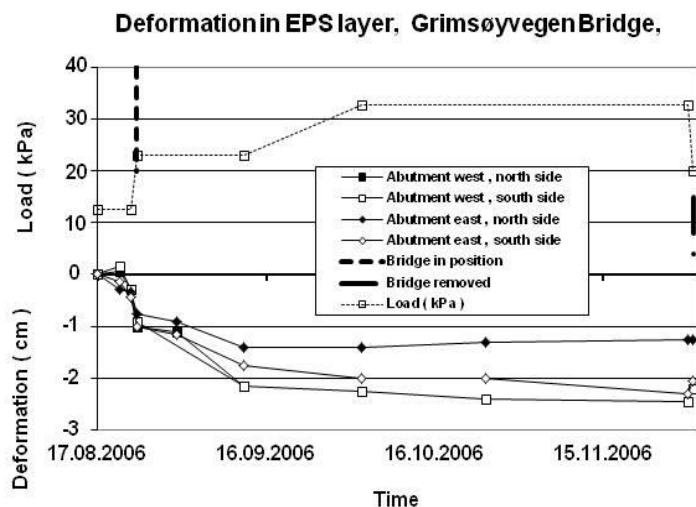
Figur 35. Hjelmungen bru. Resultater fra setnings, deformasjonsmålinger og spenningsmålinger.

Observerte spenninger under EPS-fyllingen indikerer høyere spenninger under den sentrale delen av fundamentet enn under kantene, som vist i Figur 35. Beregnede belastninger på støtten er indikert med den tykke linjen i diagrammet.

10 år senere i 2006 måtte Hjelmungen bru nok en gang rekonstrueres, denne gang som en konsekvens av utvidelsen av E6, Figur 34. Overvåkingsutstyret ble fjernet, og de siste målingene ble utført. Blokkene ble testet og kontrollert og funnet akseptable for gjenbruk.

Brua ble rekonstruert med en ny søyle og et nytt EPS-fundament ble bygd med samme designkonsept som i rekonstruksjonen i 1996 og er i dag en del av eksisterende bru over E6.

6.4 E6 Grimsøyvegen bru



Figur 36. E6 Grimsøyvegen bru. Midlertidig bru fundamentert på EPS. Foto: Roald Aabøe

Grimsøyvegen bru var en midlertidig stålbru med ett kjørefelt og et spenn på 30 meter som krysser Europavei E6 i Østfold litt nord for Løkkeberg bru. Brua ble bygget for å midlertidig (i 3 måneder) erstatte den permanente brua på stedet, som måtte utvides med et nytt spenn. Designløsningen med direkte fundamentering av landkaret direkte på toppen av EPS-fyllingene på begge sider ble også her brukt som et alternativ til å plassere brulandkaret på peler. På grunn av lav bæreevne og forventede store setninger, var lette fyllingsmaterialer (EPS) nødvendige i fyllingene. EPS-fyllingene ble delvis bygget opp med gjenbrukte EPS-blokker fra Løkkeberg bru, Figur 36.

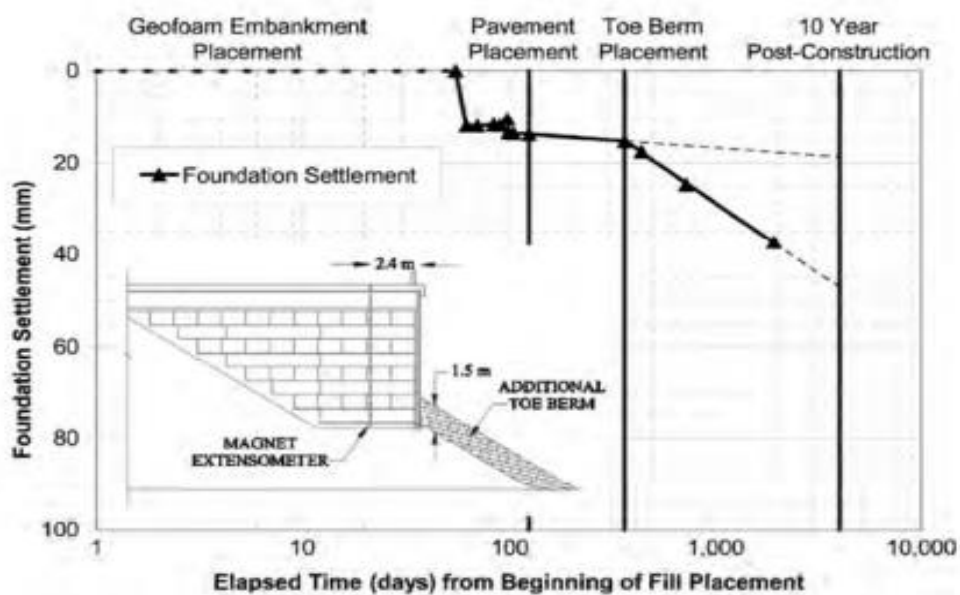
Entreprenøren kom med denne alternative løsningen (opprinnelig plan var peling til fjell) rett før oppstart og tidsrammen ga ikke mulighet for å følge konstruksjonen med overvåkingsutstyr. Deformasjon av EPS-fyllingen og setninger i grunnen ble likevel overvåket i denne korte perioden. Høyden på EPS-fyllingene ved Grimsøyvegen bru var 4,5 m. Med observerte deformasjoner på inntil 2,5 cm i løpet av den tiden brua var i drift, tilsvarer dette en deformasjon på omtrent 0,5 % av fyllingens høyde.

6.5 I 15 (Utah, USA). Langtidsforsøk på EPS fylling i Salt Lake City

Bartlett, Steven, Negussey, Dawit, Farnsworth Clifton, Stuedlein, Armin. Construction and Long-Term Performance of Transportation Infrastructure Constructed Using EPS Geofoam on Soft Soil Sites in Salt Lake Valley, Utah [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)

Utah Department of Transportation (UDOT) og Utah Transit Authority (UTA) brukte EPS fylling for flere store utvidelser av motorveger, jernbaneprosjekter og pendeltog-prosjekter i Salt Lake Valley, Utah, se også beskrivelser av disse prosjektene i Statens vegvesen rapport 1019. Del 3: Design og eksempler på bruk av ekspandert polystyren.

Vegkonstruksjonene var en utvidelse av eksisterende motorvegnett innenfor en 27m smal korridor med begrenset bruksareal. Omtrent 100 000 m³ EPS fylling ble plassert på ulike steder for å minimere setninger i områder med dårlige grunnforhold.



Figur 37. Deformasjon målt på 3300 South Street, I-15 Reconstruction Project (Farnsworth et al., 2008). Bilde fra [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)

Sammenlignet med alternative løsninger ble EPS vurdert som den beste løsningen for å redusere setninger.

De totale deformasjonene (setninger i grunnen og EPS kryp) forventes å være omtrent 50 mm etter 10-år. Målinger som vist i Figur 34 viser at EPS fyllingene fungerer som designet og vil oppfylle kravet om 1 % krypdeformasjon i et 50-års perspektiv.

6.6 Konklusjon på modell – og fullskalaforsøkene

Målinger av deformasjon i EPS fyllingens totale høyde viser på Løkkeberg bru (påført last 55 kPa) og i skala forsøket på Veglaboratoriet (påført last 52,5 kPa) at deformasjonene etter 17 år er mindre enn halvparten av de teoretisk utledete kurvene ved samme last, 52,5 kPa. Målingene på Hjelmungen bru og Grimsøyvegen bru støtter disse målingene og viser god overenstemmelse.

Erfaringene tilsier at utførte målingene ligger i området tett opp under der plastiske deformasjonen blir dominerende. De teoretisk utledete kurvene er basert på plastiske deformasjoner over en viss last og tar ikke hensyn til lastspredning i fyllingen.

I tillegg er det gjort forsøk for å finne spenningsfordelingen gjennom en EPS fylling basert på data fra spenningsmålinger fra modellforsøket i Veglaboratoriets forsøkshall og fullskalaforsøket på Løkkeberg bru (hydrauliske trykkceller fordelt i og under fylling). Selv om resultatene spriker er i hovedsak målte spenninger lave og kan indikerer en spenningsfordeling på 2:1 fra ytterkant av belastningsarealet. Avhengig av fundamentets stivhet og mulige lasteksentrisiteter kan det oppstå lokale spenningskonsentrasjoner. For å oppnå størst mulig utnyttelse av trykkfasthet ser det ut til å være gunstig å bruke en høyere kvalitet i toppen av slike fyllinger. Hovedgrunnen til avvikende resultater for modellforsøket (betonggulv med tynt sandlag over) og Løkkeberg bru (bløt leire under fyllingen) skyldes at ved et deformerende underlag vil det føre til påfølgende endring av lastspredning.

Hovedkonklusjonen er at denne brufundamenteringen i en EPS fylling ser ut til å ha vært vellykket teknisk sett. 17 år etter åpningen fungerte bru og fylling på en utmerket måte og det var ingen indikasjoner på svikt eller aldring av materialet i forbindelse med at fyllingen ble fjernet.

6.7 Videre arbeid

Det har blitt forsket videre på dataene fra disse konstruksjonene av flere. Både masteroppgaver og vitenskapelige artikler har blitt publisert. Noen av disse er referert under. Det kan fremstå som at resultatene fra disse arbeidene på mange

måter underbygger og støtter opp om de forsøkene og fullskalaforøkene som har blitt gjennomført i Norge.

1. Arellano, D., Aabøe, R. & Stark, T.D. (2001). Comparison of Existing EPS–Block Geofoam Creep Models With Field Measurements. Proc., EPS Geofoam 2001 3rd International Conference.

Artikkelen er et norsk / amerikansk samarbeid som dokumenterer modellforsøk, fullskalaforøk og sammenligner dette med teoretisk modeller.<https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/geofag/geoteknikk/eps/>

2. Tefera T., Aabøe R., Bruun, H., Aunaas, K. (2011). FEM simulation of full scale and laboratory models test of EPS. The 4th International Conference on Geofoam blocks in Construction Applications, EPS 2011, Norway. [Ekspandert polystyren \(EPS\) i vegbygging | Statens vegvesen](#)

I fyllinger av EPS under et fundament vil det oppstå deformasjoner. Spennings/ deformasjonsoppførselen til EPS vil i slike tilfeller avhenger av faktorer som påført last, densitet av EPS materialet, produksjonsprosess og miljøfaktorer. I tillegg kompliserer samspillet mellom EPS–blokker og EPS–jord forståelsen av EPS oppførsel ytterligere. På grunn av alle disse faktorene er estimering av spennings–deformasjonsadferd til EPS i undergrunnen vanskelig og komplisert.

Artikkelen presenterer resultatene fra numerisk simuleringen av to fysiske modeller. Fullskala– og laboratorietestmodeller av EPS fyllinger ble etablert og en kalibrert Hardening Soil–modell ble implementert i Finite Element Metode programmet PLAXIS 2D versjon 2010 og ble brukt for å simulere spenningsfordelingene.

Spennings/ deformasjonsoppførselen til EPS i det lave deformasjonsspekteret kan simuleres godt ved bruk av den avanserte Hardening Soil–modellen. Spenningsfordelingen i EPS fyllinger avhenger også av samspillet mellom EPS blokkene. Dette kan ha vært årsaken til noe variasjon i de målte verdiene fra modelltestene og mellom resultatene fra FEM–simuleringen og de eksperimentelle resultatene.

3. Awol, T. A. (2012) [NTNU Open: A Parametric Study of Creep on EPS Geofoam Embankments](#)

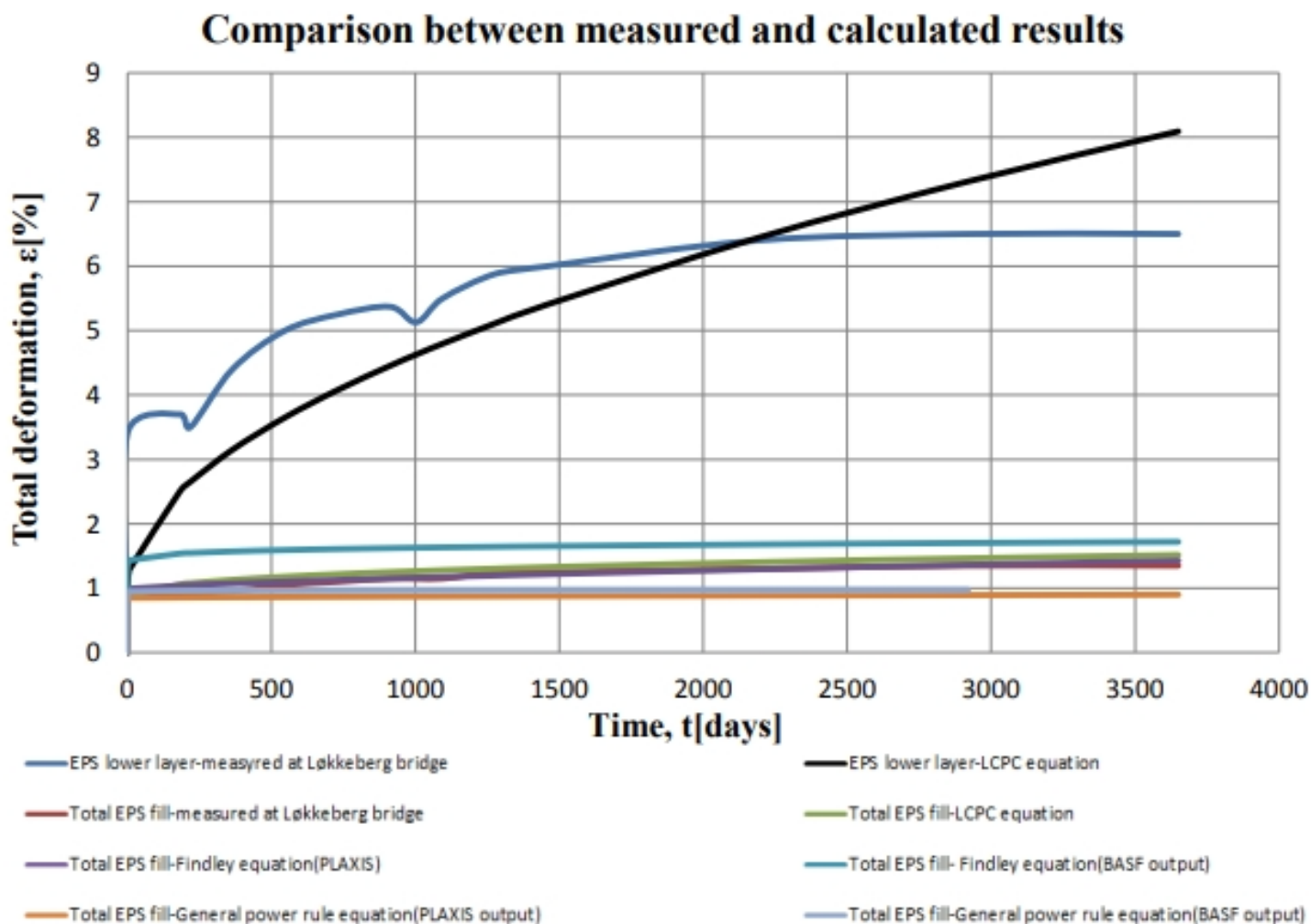
I masteroppgaven til Tebarek har det blitt gjennomført en parametrisk studie av EPS som et lett fyllmateriale i vegbygging. Både kort– og langtid

deformasjonsegenskaper, samt mekaniske parametere for EPS, blir diskutert basert på laboratorieforsøk og litteraturgjennomgang.

Konklusjoner fra denne studien:

- EPS er ikke ensartet når det gjelder mekaniske parametere på grunn av produksjonsprosessen,
- $E=5\text{MPa}$ og $\nu=0,1$ anbefales for bruk i design av vegkonstruksjoner.
- EPS-parametere kalibrert ved bruk av HS-modellen gir praktiske og anvendbare resultater.
- Videre er totaldeformasjonen i EPS under et permanent trykk på 50% av trykkfasthet mindre enn 2% i løpet av hele designperioden

I masteroppgaven er det gjort et forsøk på å sammenligne resultater fra Løkkeberg bru med (Magnan og Serratrice), Plaxis og BASF målinger, Figur 38. Resultatene fra PLAXIS



Figur 38. Sammenligning av teoretisk utledete beregninger og målinger på Løkkeberg bru. Tefera 2012)

er basert på fullskallatester, i motsetning til BASF der resultatene ble oppnådd fra små prøver som overestimerer deformasjonen. Resultater basert på PLAXIS gir en bedre

estimering enn BASF. Generelt gir resultatene fra FE-simuleringen i masteroppgaven en god estimering for totaldeformasjonen, og de kan alltid endres etter hvert som parameterne i FE-koden endres.

4. Arrelano D., Stark T.D. (2016). *Load bearing analysis of EPS-block geofoam embankments*.https://www.researchgate.net/publication/266235432_Load_bearing_analysis_of_EPS-block_geofoam_embankments.

Artikkelen presenterer en deformasjonsbasert prosedyre hvor belastningen ved 1 prosent deformasjon brukes til design av EPS i vegfyllinger. Prosedyren består av å bestemme maksimal vertikal belastning fra statisk- og trafikkbelastninger på ulike nivåer innen EPS fyllmassen og på bakgrunn av dette velge en EPS-kvalitet som har en elastisk grensebelastning som er høyere enn den beregnede vertikale belastningen på den aktuelle dybden ([NCHRP Report 529 – Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments](#)). Prosedyren skal begrense initialdeformasjoner fra aktuelle laster, begrense langtidskrypdeformasjoner under samme lastbetingelser samt begrense ikke-elastiske deformasjoner under trafikkbelastninger til akseptable nivåer. Dette gir mulighet til optimalisering og kostnadsbesparelser ved å bruke høyere densitet med påfølgende høyere trykkfasthet på blokker i øvre lag.

6.8 Forprosjekt utvikling av designmanual for direktefundamentering av bruer på EPS

Vaslestad, J., Bartlett, S., Aabøe, R., Burkart, H., Ahmed, T., Arellano, D., (2019). [\(7\) \(PDF\) Bridge Foundations Supported by EPS Geofoam Embankments on Soft Soil](#)

Bartlett S. & Neupane R. (2017).[Seismic Evaluation of Expanded Polystyrene \(EPS\) Geofoam Bridge Support System for Overpass Structures \(MPC-17-328\)](#)

Statens vegvesen har, sammen med University of Utah og University of Memphis, gjennomført et forprosjekt for å se på muligheter for å utvikle et konseptuelt design som omfatter designkriterier, materialtesting, prototyper, numerisk modellering og konstruksjonsmuligheter for direkte fundamentering av konstruksjoner på EPS. EPS muliggjør rask konstruksjon av brufundamenter på slike grunnforhold, uten de tid- og kostnadskrevende prosessene knyttet til tradisjonell fundamentering.

For å utvikle et regelverk for direkte fundamentering på EPS, må designveiledninger og materialstandarder utviklet i Europa og USA gjennomgås og implementeres.

Når det gjelder seismisk design, anbefaler Bartlett og Neupane (2017) at de statiske, dynamiske og jordskjelvsbelastningene som påføres EPS-blokkene, begrenses til et kombinert spenningsnivå som ikke overskrider trykkfastheten ved 2 % deformasjon. Denne anbefalingen er i tråd med EPS White Book (EUMEPS 2011) for tillatt spenningsnivå for korttidsbelastningsforhold.

Materialtesting vil bli benyttet for å definere spenningsforhold, kryp og dynamiske (sykliske) egenskaper for EPS. Flere tester har allerede blitt utført av ulike forskere, men ytterligere testing kan være nødvendig i utviklingen av det konseptuelle designet. De viktigste egenskapene som må testes, er de som relaterer seg til den mekaniske (spenning–tøyning–tid) atferden til hele EPS-blokken under trykk, ettersom dette vil være belastede deler i den endelige brustrukturen.

Spenning–tøyning og spenning–tøyning–tid oppførsel for EPS er avhengig av densiteten til EPS-blokken. De vanlige EPS-densitetene som er tilgjengelig på markedet og som brukes til lette fyllinger, varierer fra 18,4 til 45,7 kg/m³. Krypdata er tilgjengelig for disse densitetene, og kryp-, sykliske- og fleksur-tester vil også bli utført på prøver med høyere densiteter enn 45,7 kg/m³.

Bartlett og Neupane (2017) utførte en serie spenningskontrollerte sykliske tester på EPS-prøver med forskjellige densiteter for å vurdere deformasjon og kryp i direkte fundamenterte EPS-konstruksjoner under jordskjelv. Testene viste som forventet at EPS-prøver hadde større permanent plastisk deformasjon ved høyere nivåer av påført syklisk deviatorisk stress. Det ble også målt kryp etter at de sykliske forsøkene var ferdigstilt og resultatene er brukt til å estimere den totale permanente vertikale deformasjonen i en prototype EPS-konstruksjon over en 50-års periode. Estimaten viste at total permanent deformasjon internt i EPS fyllingen ikke vil overstige 0,7 % dersom de seismiske designkriteriene følges.

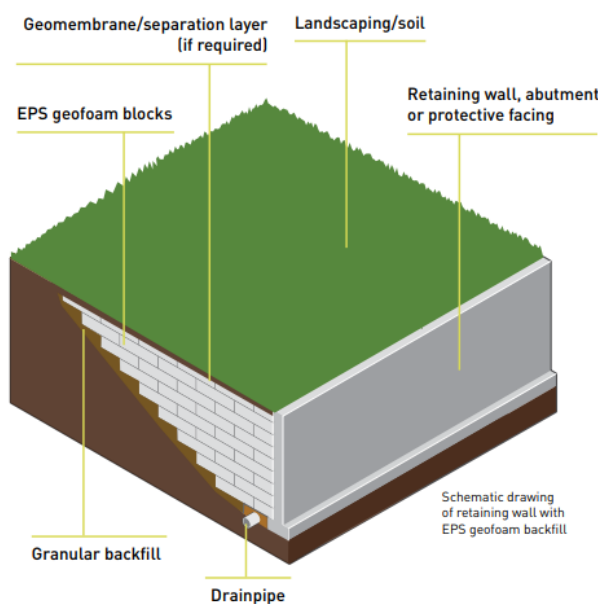
Konklusjon fra forprosjektet:

Permanente og midlertidige og bruer som fundamenteres direkte på EPS har, gjennom laboratorie-, modell- og fullskalaforsøk, vist seg å være teknisk gode løsninger i henhold til ingeniørvurderinger, forskningsarbeid, og feltobservasjoner med instrumentering og langtidsmålinger. Videre studier om et konseptuelt og standardisert design for slike brufundamenter anbefales på det sterkeste, med tanke på å standardisere metodikken og spre muligheten for å redusere byggeprosjektets tid og kostnader, særlig ved bygging på bløt undergrunn.

7 Redusert horisontaltrykk

7.1 Redusert horisontaltrykk bak støttemurer og landkar

EPS kan brukes som lett fyllmasse bak støttemurer og landkar for å redusere horisontaltrykket på konstruksjonen betydelig, Figur 39. Siden det horisontale trykket som virker på en støttemur er avhengig av vekt på fyllingsmassene, kreves det en mindre robuste støttekonstruksjon til å motstå store horisontale statiske og dynamiske krefter hvis fyllmassen i den aktive sonen bak muren erstattes med EPS.



Tilsvarende begrenser bruken av EPS som fyllmasse bak støttemurer og landkar også horisontale krefter som kan utvikles under jordskjelv. Det er viktig å understreke at det må være tilstrekkelige dreneringssystemer i konstruksjonen for å hindre utvikling av hydrostatisk trykk og oppdrift.

Under er det samlet en del av de mest interessante artiklene/ forskningarbeider som omhandler temaet redusert horisontaltrykk ved bruk av EPS.

Figur 39. Redusert horisontaltrykk. Hentet fra The EPS Industry Alliance–Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data

I Japan har det vært stort fokus rundt mulighetene det reduserte

horisontaltrykket fra en EPS fylling mot en konstruksjon kan gi. Store lab/halvskala



Figur 40. Måling av jordtrykk på en stor støttemur i laboratoriet. Foto; Hideki Tsukamoto

forsøk (Figur 40) ble utført med hensikt å måle jordtrykket som virker på en støttemur når EPS benyttes som tilbakefyllingsmateriale mot en konstruksjon, for eksempel som et brufundament. Japanerne (EDO) fant at jordtrykket kan reduseres betydelig dersom EPS-materiale fylles mellom konstruksjon og en stabil jordskråning. I et slikt tilfelle ble det også bekreftet at horisontaltrykket er i størrelsesorden mindre enn 1/10 av overliggende last. Hentet fra: Hideki Tsukamoto CPC, EDO. "History of R&D and Design Code for EDO-EPS Method in Japan" [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)

Atle Hjorteset ([Brage – Statens vegvesen: Spenningsfordeling i EPS som konstruksjonsmateriale](#) [Diplomoppgave fra Institutt for geoteknikk og fundamenteringslære.](#)) så på muligheten for å redusere horisontaltrykk allerede i 1987 i sin diplomoppgave. Et modellforsøk på NTH's (NTNU) jordtrykkskasse ble sammenlignet med et fullskalaforøk på en bru med ekstra pålasting. Det viste seg vanskelig å finne en god sammenheng mellom målte laster / spenningsfordeling og den teoretiske modellen.

I tillegg ble det gjort posisjonsmålinger på Lambertseterveien bru for å identifisere om avstanden mellom EPS fylling og brufundament (2–3 cm) har holdt seg konstant i levetiden. Dette gapet ble lagt bevisst for å redusere jordtrykket mot fundament til null. Målingene på Lambertseterveien bru (1976) viste at det ikke var noe jordtrykk fra EPS fylling mot fundament (fortsatt et gap mellom fylling og fundament). Brua er fortsatt en viktig veg og under trafikk i 2025.

PROJECT NO. RSCH010–983 VERMONT DEPARTMENT OF TRANSPORTATION “Full-Scale Pilot Study to Reduce Lateral Stresses in Retaining Structures Using GeoFoam”

[VTRANS Final Report](#) av Alan J. Lutenecker and Matt Ciufetti.

I forbindelse med rehabilitering av motorveibru TH 1 (FAS 160) mellom Leicester og Whiting i USA, (Figur 41) ble det brukt EPS blokker for å redusere setninger og horisontaltrykk. Jordtrykkmålinger ble utført på baksiden av støttemuren for å se om det ble et redusert horisontaltrykk som følge av at konvensjonelle tilbakefyllingsmasser ble erstattet med EPS.

Undersøkelsen viste betydelige reduksjoner i både horisontalt og vertikalt jordtrykk bak støttemuren

Basert på målte vertikale og horisontale trykk, var resulterende verdi for hviletrykkskoeffisienten for horisontaltrykk (K_0) mellom 0,02 og 0,05.

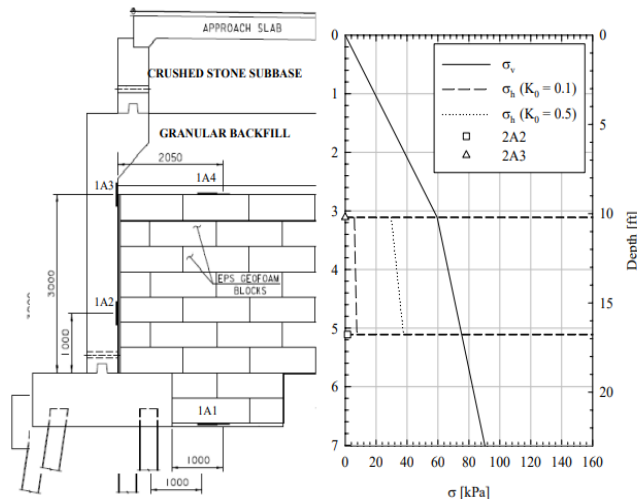


Figure 6.22 Estimated and Measured Vertical and Lateral Pressures at Abutment 2 for Case IV Loading.

Figur 41. Redusert horisontaltrykk, fullskalaforøk. Fra Lutenegger, Ciufetty

Lateral Pressure Reduction on Earth-Retaining Structures Using Geofoams: Correcting Some Misunderstandings John S. Horvath¹, Ph.D., P.E., M.ASCE Dr Horvath [ER2010](#)

Effekten av å bruke blokkformet EPS for å redusere horisontaltrykk på støttekonstruksjoner er godt etablert. Det finnes to forskjellige funksjonelle måter å oppnå dette enten som lettfylling eller som sammenpressbart materiale. Mer informasjon her: [Earth-Pressure Reduction Using Geofoam](#)

Reduction of Earth Pressure for Non-Yielding Retaining Walls using EPS Geofoam

Sayed M Ahmed [Ain Shams University, Civil Engineering \(Structural Engineering. \[Reduction of Earth Pressure for Non-Yielding Retaining Walls using EPS Geofoam\]\(#\) \(2020\)](#)

Studien viser nytten av å bruke EPS som et kompressibelt materiale bak støttemurer. Numeriske modeller av støttemurer med EPS ble simulert med Plaxis 2D. Modellen ble validert ved å sammenligne resultatene fra en skalamodell, som viste god overensstemmelse mellom målt horisontaltrykk og modellens resultater. En parametrisk studie ble utført ved hjelp av numeriske modeller for å demonstrere effekten av EPS-densitet og tykkelse på reduksjon av horisontaltrykk på en kjellermur med en dybde på 12,0 m. Følgende konklusjoner ble trukket:

- EPS-tykkelse bak støttemur og densitet er faktorer som reduserer horisontaltrykk.
- Økning i EPS-tykkelse bak støttemur reduserer jordtrykket på støttemuren, spesielt når EPS-densiteten er lav.

- Ved å redusere EPS-densiteten oppnås større reduksjon i horisontaltrykk på støttemuren, og reduksjonen er mer effektiv ved økende tykkelse på EPS-laget bak muren.
- De viktigste faktorene som påvirker reduksjonen av horisontaltrykk er EPS-tykkelse og densitet. Reduksjonen av horisontaltrykk som virker på muren vil redusere bøyningmoment og skjærkrefter, og dermed redusere belastningen.

Reduction of lateral earth pressure using Geo-foam blocks.

Mahmoud Samir El-kady, Majed A. Alzara, Mohamed Anwar Farouk Structural Engineering Department, Faculty of Engineering, Zagazig University, Zagazig, Egypt) ([PDF](#)) [Reduction of lateral earth pressure using Geo-foam blocks](#)

Dette arbeidet beskriver en numerisk modellering av en støttekonstruksjon med forskjellige lagtykkelser av EPS bak veggen. Hovedmålet var å sammenligne bruken av EPS med vanlig tilbakefyllingsmateriale for å dokumentere eventuelle reduserte horisontalkrefter og deformasjoner. Studiene viser at bruk av EPS-blokker gir en økonomisk design og konstruksjon som fører til mindre setning og horisontalkrefter.

Reduction of lateral pressures on retaining walls using geofoam inclusion (2016)

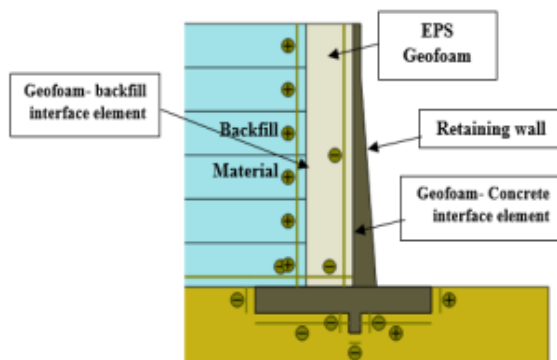
Sherif S. Abdelsalam, Nile University, Salem A. Azzam, Alexandria University, Egypt. [Reduction of lateral pressures on retaining walls_.pdf](#)

I denne studien er EPS egenskaper karakterisert og kalibrert i en standard numerisk modell for å finne oppførselen til stive og fleksible murer med EPS bak. Et laboratorieprogram ble gjennomført for å måle skjærstyrken og grensesnittegenskapene mellom EPS-EPS, EPS/jord og EPS/betong. Målingene ble brukt til å kalibrere en «hardening soil modell» i elementprogrammet Plaxis.

Effect of EPS Geofoam on Lateral Earth Pressure Reduction – A Numerical Study. Neeraj

Kumar Burugupelly¹ and Satyanarayana Murty Dasaka².
Proceedings of Indian Geotechnical Conference 2020 December 17–19, 2020, Andhra University, Visakhapatnam

[TH-09-54-160523102846.pdf](#)



Figur 42. Redusert horisontal trykk fra en EPS fylling (Kumar Burugupelly, Satyanarayana Murty Dasaka)

I denne studien ble PLAXIS 2D brukt for å undersøke reduksjon av horisontaltrykk når høyden på

støttemuren, tetthet og tykkelse på EPS varieres, Figur 42. Resultatene viser at bruken av EPS betydelig reduserer horisontaltrykk på støttemurene som kan gi betydelige kostnadsbesparelser i prosjektet

- EPS densitet og tykkelse på laget er viktige i grad av reduksjon av horisontaltrykk.
- Det ble observert store horisontalforskyvninger i nedre halvdel av støttemuren med komprimerbar EPS, noe som tillot tilbakefyllingsmassene å gi etter, og på den måten redusere det totale horisontaltrykket på muren.

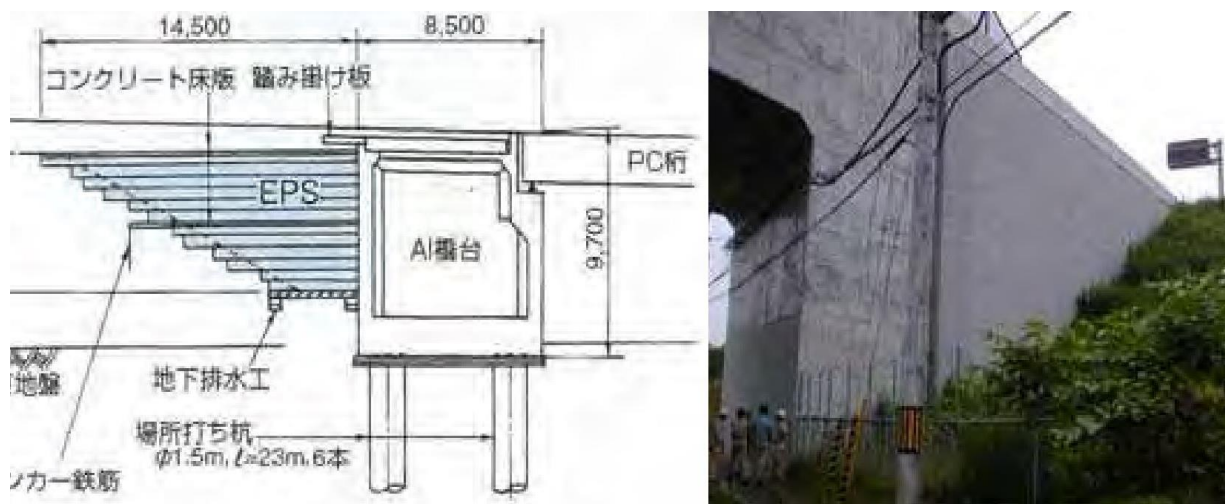
Lateral earth pressure of granular backfills on retaining walls with expanded polystyrene geofoam inclusions under limited surcharge loading.

Kewei Fan, Guangqing Yang, Weilie Zou, Zhong Han , Yang Shen

[Lateral earth pressure of granular backfills on retaining walls with expanded polystyrene geofoam inclusions under limited surcharge loading – ScienceDirect](#)

Mer info både om redusert horisontaltrykk og andre EPS relevante temaer finnes her: [EPS Geofoam Applications & Technical Data.pdf](#).

Fra en EPS leverandør (Universal Construction Foam) i USA er det vist eksempler på bruk av EPS som metode for å redusere horisontaltrykk: [EPS29 Geofoam Used to Reduce Lateral Pressure on Concrete Wall | Geofoam, Styrofoam, EPS & Polystyrene](#)



Figur 43. Redusert horisontallast på et fundament i Japan, eps-proceedings-2011-norway.pdf

I Japan brukes EPS-blokker som lastreduserende tiltak bak fundamenter ([eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)). Det forutsettes at de ordinære fyll/jordmasser avsluttes

med en stabil helning (1:1,5~1:2). Horisonttrykk på 1/10 av belastningen vil bli jevnt fordelt langs hele høyden av veggen. Figur 43 illustrerer et eksempel på en slik EPS fylling for et fundament.

Ellers vises det til en rekke eksempler på bruken av EPS som metode for å redusere horisontaltrykk og dynamiske laster blant annet fra Japan i «Statens vegvesen rapport nr. 1019. Del 3»

7.2 Vibrasjoner og setninger

Effect of Using EPS Geofoam on Deformation Behavior of Square Footings on Clay Subjected to Static and Dynamic Loads: Experimental Study (2017). Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications M. El Gendy, Ibrahim El Arabi Walid El Kamash og Ezzaat Sallam,

I forbindelse med bygging av fabrikker og gassanlegg i Port-Said på mektige leiravsetninger har det vært nødvendig å utvikle fundamenteringssystemer som kan motstå forventede dynamiske effektene og vibrasjonene fra de tunge maskinene som benyttes. Ekspandert polystyren (EPS) har blitt introdusert som en effektiv dynamisk demper for flere geotekniske problemer på prosjektet.

Effekten av statiske laster for maskinen og dynamiske laster i arbeidstilstand på setningsoppførselen for et kvadratisk fundament har blitt studert eksperimentelt, både med og uten EPS. Resultatene viste at bruken av EPS kan redusere maksimal setning betydelig under maskinfundamentet.

7.3 EPS fyllinger utsatt for seismiske laster under jordskjelv

Stabilitet til EPS-fyllinger utsatt for seismiske laster har vært en utfordring som har vært behandlet av mange bl.a i Japan (Tsukamoto H History of R&D and design code for EDO, [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#) både fra et teoretisk perspektiv og gjennom små- og fullskalaeksperimenter. Dette inkluderer både stabiliteten til vanlige EPS-fyllinger, fyllinger i skråninger og frittstående EPS- konstruksjoner med vertikale vegger, samt fyllinger i tilknytning til brufundamenter og støttemurer.

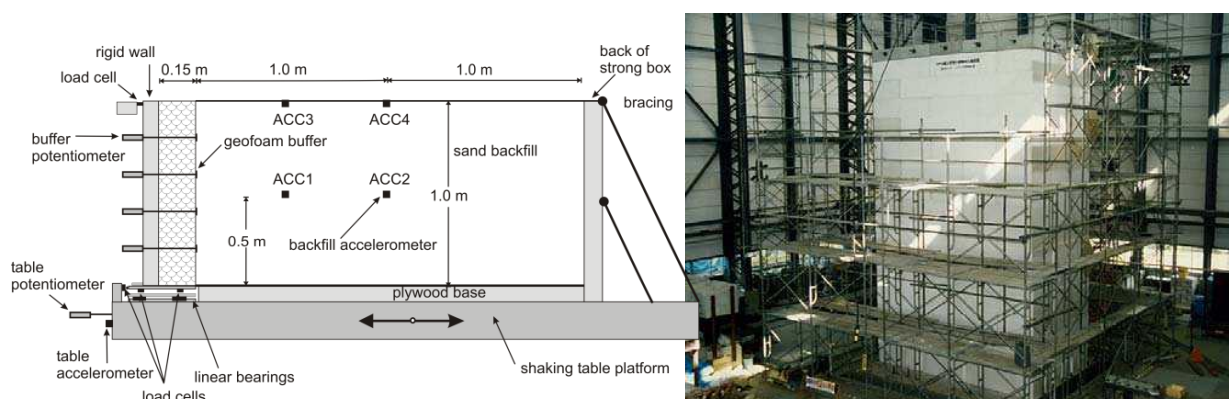
I dette kapitlet er noen aktuelle artikler vist og linket til for å illustrere problemstillinger som ikke er spesielt aktuell for norske forhold.

EPS-materialet ser ut til å ha en positiv effekt på konstruksjoner som er analysert under seismiske laster. I det japanske regelverket (2018) kreves det ingen spesielle

seismiske designhensyn for fyllinger med høyder under 6 m og et høyde-til-bredde-forhold $< 0,8$. For høyere fyllinger anbefales det å designe for seismiske hendelser.

For å studere oppførselen til EPS-fyllinger når et storskala jordskjelv opptrer i rask rekkefølge, ble en EPS-fyllingsmodell i skala 1/5 bygget, og et rystebordforsøk ble utført ved hjelp av et rystebord (3 m $\times$ 2 m) ved Universitetet i Tokyo. EPS-fyllingen forårsaket et «vippefenomen» på grunn av seismisk bevegelse.

Figur 44 viser modellforsøk med en EPS konstruksjon på et stort rystebord (shaking table) i Japan samt bilde fra et fullskalaforsøk. Som et mottiltak ble effekten av en forbedret Joint Metal Binder undersøkt i forbindelse med «shaking table» fullskalaforsøkene. [Shaking Table Test of Scaled 1/5 EPS Embankment Model | SpringerLink.](#)



Figur 44. Shaking table forsøk i Japan hhv modellforsøk 1:5 til venstre og et fullskalaforsøk til høyre. Foto: 5th International Conference on Geofoam Blocks (Springer)

Evaluation of EPS embankment behavior during large-scale earthquakes by full-scale shaking table tests

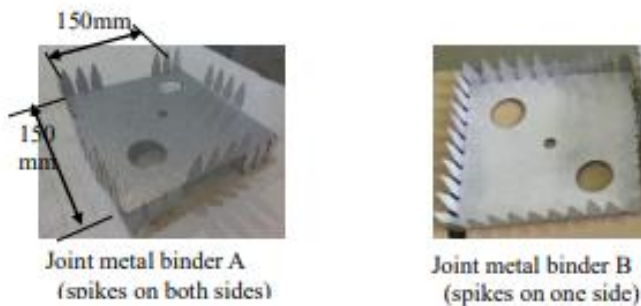
https://cpcinc.co.jp/pdf/techinfo/2022_geasia20IGS_firstyoungengineerconference.pdf

Artikkelen beskriver fullskala tester på en EPS-fylling bak en støttemur Figur 44 under store jordskjelvbevegelser og hvordan EPS fyllingen oppfører seg.

Hovedkonklusjonene er:

- Med de nye metallforbindelsene (Joint Metal Binder) mellom blokkene forbedres jordskjelvmotstanden, sammenlignet med EPS fyllinger uten bindinger mellom blokker.

- *Deformasjoner som oppstår fra seismiske bevegelser kan reduseres dersom konvensjonelle metallbindere med pigger på begge sider brukes til vertikal sammenkobling av EPS-blokker, og metallbindere med pigger på én side brukes til horisontal sammenkobling av EPS-blokker.*
- *Numerisk analyse ved hjelp av deformasjonsanalyseprogram, FLIP/TULIP har simulert rystebordforsøkets oppførsel av EPS-fylling under seismisk aktivitet.*



Figur 45. Joint metal binders som brukes for å forbedre stabiliteten av EPS fyllinger i områder med seismisk aktivitet.

A Numerical Study on the Role of EPS Geofoam in Reducing Earth Pressure on Retaining Structures Under Dynamic Loading (2021). Muhammad Imran Khan, Mohamed A. Meguid begge fra McGill University. [A Numerical Study on the Role of EPS Geofoam in Reducing Earth Pressure on Retaining Structures Under Dynamic Loading](#)

Horisontaltrykket spiller en viktig rolle i analyse og design av støttemurer. Blokker av EPS har blitt brukt til å redusere horisontaltrykket på konstruksjoner under statisk belastning. Ved å plassere EPS mellom en støttemur og terreng bak, tillates kontrollert deformasjon, som fører til mobilisering av jordens skjærstyrke.

Under dynamisk belastning kan jordtrykket som virker på en stiv vegg øke betydelig. I denne studien er en numerisk modell utviklet for å studere effekten av å inkludere seismiske jordtrykk som virker på stive støttemurer med EPS bak. Modellen er utviklet og validert ved bruk av data og simulering hentet fra #shaking table», EPS densitet, tykkelse bak støttemur i forhold til murhøyde og friksjonsvinkel til fyllingsmaterialet. Ved å bruke EPS mellom muren og fyllingsmasser under dynamisk belastning kan seismisk trykk på muren reduseres både på nye og eksisterende konstruksjoner.

EPS brukt som en seismisk buffer er avhengig av materialdensiteten, relativ tykkelse samt friksjonsegenskapene til fyllingsmassene bak. EPS med lav densitet absorberer seismiske bølger og gir forbedret situasjon. En økning av tykkelsen på EPS fyllingen (bak støttemur) bidrar til en betydelig reduksjon i det totale trykket på muren.

8 Tilstandsvurdering av vegdekke over EPS fyllinger

Det er bygget mange hundre EPS-fyllinger i Norge de siste tiårene, og det er ikke rapportert om spesielle problemer med utmatting av asfaltdekket eller behov for spesiell hyppig dekkefornyelse på disse områdene. Det ble derfor gjennomført en systematisk undersøkelse av tilstanden til vegdekkene over 8 utvalgte EPS fyllinger i 2011. Tilstandsvurdering ble utført av Lars-Marius B. Andersen mfl. [Ekspandert polystyren i norsk vegbygging – en tilstandsundersøkelse av tidlige EPS fyllinger](#)

Verktøy som er benyttet for å gjennomføre denne undersøkelsen er PMS 2010. Dette er en database utviklet i Statens vegvesen med årlige tilstandsdata for hele det norske vegnettet. Spor og jevnhet er registrert i disse undersøkelsene. Samtidig tas bilder av vegene med 20 m mellomrom som lagres i nettapplikasjonen Vegbilder (<http://vegbilder.atlas.vegvesen.no>), slik at tilstanden til en viss grad også kan vurderes visuelt. Ved å se på tilstandsdata over en årrekke er det mulig å se om tilstandsutviklingen til dekket over EPS-fyllingene skiller seg fra vegen ellers. Ved ÅDT > 3000, er det kun spor som har betydning for dekkestandarden.

Undersøkelsen er basert på tilstanden til 8 EPS-fyllinger i østlandsområdet, Tabell 4. Det er lite, men det er fyllinger hvor det har vært mulig å få frem tilstandsdata for vegdekkene over et lengre tidsrom etter dekkefornyelse, slik at eventuelle forskjeller i tilstandsutviklingen kommer fram. Følgende strekninger ble vurdert:

Tabell 4. Tilstandsundersøkelse av dekketilstand på 8 EPS fyllinger

Sted	Veg/HP	Kilometer
E6 Årum–Hauge	hp 3	km 9,9
Fv7	hp 1	km 2610 – 2635
Fv7	hp 1	km 3050 – 3130
Fv32 Langhus	hp 1	km 730 – 800
Fv120	hp 1	km 2440 – 2490
Fv120	hp 1	km 3190 – 3290
Fv154 Solbotmoan	hp 3	km 4,940 – 5,040
Fv155	hp 1	km 12560 – 12600

Basert på det som kan leses ut fra tilstandsutviklingen på disse åtte strekningene skiller de seg ikke ut fra tilstandsutviklingen på tilstøtende veg før/etter EPS-fyllingen. Dette gir en klar indikasjon på at dimensjoneringen av overbygningen på EPS-fyllinger i Norge synes å ligge på et riktig nivå selv om det er et begrenset utvalg av strekninger.

9 Konklusjon

Det er flere grunner til at EPS er et velegnet materiale til vegbygging på bløt grunn. EPS er et materiale med spesielt gode egenskaper med hensyn på densitet, men også bestandighet og trykkfasthet. Samtidig er materialet lett å håndtere anleggsteknisk.

EPS har også vist seg å gi få negative miljøkonsekvenser. Det gjelder både ved produksjon, utlegging, brukstid og ved en eventuell brann. I perioden etter 2000 har det vært forbudt å tilsette bromider (BFR) for å redusere brannfaren i byggeperioden.

Med bakgrunn i disse egenskapene har EPS vist seg å være svært gunstig i områder med setning- og stabilitetsproblemer og ofte som tilløpsfylling mot bruer eller som erstatning for bru. EPS benyttes til fylling for brufundament, vertikale avslutninger og støttemurer og samtidig reduseres horisontale og vertikale spenninger.

Det er grunn til å tro at EPS vil være velegnet på flere bruksområder, og at bruken av EPS vil ekspandere i tiden som kommer, både internasjonalt og i Norge.

Ut fra langtidsobservasjoner, er det rimelig å anta at EPS fyllinger vil ha en levetid på minst 100 år. Prøver av utgravde blokker fra permanente og midlertidige konstruksjoner over 50 år viser ingen synlige tegn på nedbrytning.

Resultatene fra overvåkingsprogrammet viser at EPS-materialet oppfører seg som forventet, og de valgte designparametrene gir robuste konstruksjoner uten tegn til nedbrytning.

I EPS-fyllinger utsatt for normale belastninger (vegoverbygning) er deformasjoner mindre enn 1 % av fyllingshøyden observert etter at belastningen er påført. Selv i fyllinger med høyere belastninger (50% av trykkfasthet ved 5 % deformasjon) er deformasjoner i samme størrelsesorden og med små krypeffekter over tid observert.

Tilsvarende viser observasjoner og målinger til mange prosjekter som er designet og konstruert basert på norske prinsipper rundt om i verden den samme konklusjonen.

Det er viktig at:

- Designforutsetningene i regelverket følges (N200).
- Oppdrift forårsaket av varierende vannstand er tatt behørig hensyn til.
- EPS fyllingen er tilstrekkelig beskyttet mot kjemikalier.

- EPS materiale er sikret mot branntilløp, spesielt i byggefasen (materiallager).
- Permanent last holdes på et nivå under 30–50 % av materialstyrken ved 5% deformasjon.
- Seismiske laster er tatt hensyn til (mindre relevant i Norge med lav seismisk aktivitet).

10 Referanser

Referansene under er en blanding av informasjon om EPS litteratur og referanser til innhold i rapporten og er gjengitt fra keynote paper på [5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018 | SpringerLink](#) : Geofoam blocks in Civil Engineering applications V/ Roald Aabøe, Steven Floyd Bartlett, Milan Duškov, Tor Erik Frydenlund, Jnanendra Nath Mandal, Dawit Negussey, Abdullah Tolga Özer, Hideki Tsukamoto, Jan Vaslestad

1. **Aabøe R.** (1979). [Bruk av lette fyllmasser i vegbygging. Diplomoppgave ved Institutt for vegbygging](#)
2. **Aabøe R** (1980) Lette fyllinger i vegbygging – Strømsvegen ved vestre Flom bru. Intern rapport nr. 954, Veglaboratoriet, Oslo.
3. **Aabøe R** (1981) Plastic Foam in Road Embankments. Våre veger nr. 5.
4. **Aabøe R** (1984) Deformasjonsegenskaper og spenningsforhold i fyllinger av EPS. Intern rapport nr. 1845, Veglaboratoriet, Oslo.
5. **Aabøe R** (1985) 13 years of experience with expanded polystyrene as a lightweight fill material in road embankments. Paper presented at the 1st International Conference on EPS Geofoam Blocks in Construction Applications, Oslo, Norway, 22 June 1985.
6. **Aabøe R** (1993) Vurdering av neddykket EPS-konstruksjon 9 år etter ferdigstillelse. Intern rapport nr. 1646, Veglaboratoriet, Oslo.
7. **Aabøe R, Bruk av EPS – Grunnforstreking – Økonomi og metoder** (1996) Intern rapport nr. 1864, Veglaboratoriet, Oslo.
8. **Aabøe R, Bruk av lette masser i vegbygging** (1979) Hovedoppgave ved Institutt for vegbygging, NTH, Trondheim.
9. **Aabøe R, Dahlberg R, Refsdal G, Ruistuen H, Rygg N, Sørli A** (1984) The use of plastic foam in road embankments. Intern rapport nr. 1191, Veglaboratoriet, Oslo.
10. **Aabøe R, Evidence of EPS long term performance and durability as a light weight fill** (2000) Intern rapport nr. 2139, Vegteknisk avdeling, Oslo.

11. **Aabøe R, Frydenlund T.E** (1988) A challenging concept in road construction – Superlight fill materials. Ground Engineering, Volume 19, No 1.
12. **Aabøe R, Frydenlund T.E** (1996) Expanded Polystyrene – The light Solution. Intern rapport nr. 1885, Veglaboratoriet, Oslo.
13. **Aabøe R, Frydenlund T.E** (2002) Long term performance and durability of EPS as a lightweight filling material. Publication no. 100, Vegteknisk avdeling, Vegdirektoratet, Oslo.
14. **Aabøe R, Lette fyllinger i vegbygging** (1980) Strømsvegen ved vestre Flom bru – 63 s. Intern rapport nr. 954, Veglaboratoriet, Oslo.
15. **Aabøe R, Myhre Ø** (–) Superlette fyllinger av plastmaterialene Honeycombe og Ekspandert polystyren. Studietur Frankrike/Tyskland. Intern rapport nr. 1302, Veglaboratoriet, Oslo.
16. **AbdelSalam S.S., Azzam S.A** (2016) Reduction of lateral pressures on retaining walls using geofoam inclusion. Geosynthetics International, 23(6):395–407.
17. **Ahmed Sayed M** [Ain Shams University, Civil Engineering \(Structural Engineering. Reduction of Earth Pressure for Non-Yielding Retaining Walls using EPS Geofoam](#) (2020)
18. **Akay O** (2016) Slope stabilisation using EPS block geofoam with internal drainage system. Geosynthetics International, 23(1):9–22.
19. **Akay O., Özer A.T., Fox G.A** (2012) Experimental investigation of failure mechanism of expanded polystyrene block geofoam slope system under seepage. Paper presented at the 5th European Geosynthetics Congress, EuroGeo5, 16–19 September 2012, Valencia, Spain.
20. **Akay O., Özer A.T., Fox G.A** (2013) Behavior of sandy slopes remediated by EPS–block geofoam under seepage flow. Geotextiles & Geomembranes, 37:81–98.
21. **Akay O., Özer A.T., Fox G.A** (2014) Assessment of EPS block geofoam with internal drainage for sandy slopes subjected to seepage flow. Geosynthetics International, 21(6):364–376.
22. **Alfheim S.** (1974) Lette fyllinger av skumplast i vegbygging. Vegen og vi, feb. 1974.
23. **Alfheim S.** (1975) Skumplast i vegbygging – ikke bare til isolering. Frost i Jord, nr. 15, Oslo.
24. **Alfheim S.** (1975) Skumplast i vegbygging. Ingeniørnytt, 19 sept. 1975.
25. **Alfheim S., Flaate K., Refsdal G., et al.** (2011) The first EPS geoblock road embankment – 1972. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications – EPS 2011, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
26. **Alfheim S.** Lette fyllinger av skumplast. Intern rapport nr. 497, Veglaboratoriet, Oslo.
27. **Amini Z.A** (2014) Dynamic characteristics and seismic stability of expanded polystyrene geofoam embankments. Ph.D. Dissertation, University of Utah, Salt Lake City, UT, USA.
28. **Amini, Z. and Bartlett, S. F.,** 2013, “EPS Geofoam Adhesive Bond Strength Evaluation for Improving Sliding Resistance for Seismic and Construction Applications,” Prepared for InsulFoam Corporation,
29. **Andersen L-M., B., m.fl.,** (2011). [Ekspandert polystyren i norsk vegbygging – en tilstandsundersøkelse av tidlige EPS fyllinger. Bacheloroppgave fra Høgskolen i Østfold](#)

30. **Arellano, D., Aabøe, R. & Stark, T.D. (2001).** Comparison of Existing EPS–Block Geofoam Creep Models With Field Measurements. Proc., EPS Geofoam 2001 3rd International Conference.
31. **Arrelano D., Stark T.D. (2016).** *Load bearing analysis of EPS–block geofoam embankments*.https://www.researchgate.net/publication/266235432_Load_bearing_analysis_of_EPS–block_geofoam_embankments.
32. **Arellano D., Stark T.D., Horvath J.S., et al. (2011)** Guidelines for geofoam applications in slope stability projects: Final report. NCHRP Project No. 24–11(02), Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
33. **Arellano D., Stark T.D., Horvath J.S., Leshchinsky D. (2013)** NCHRP Research Results Digest 380: Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects. Transportation Research Board, Washington, DC, USA. [Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects | The National Academies Press](#)
34. **Athan osopoulos–Zekkos A., Lamonte K., Athanasopoulos G.A. (2012)** Use of EPS compressible inclusions for reducing the earthquake effects on yielding earth retaining structures. *Soil Dynamics & Earthquake Engineering*, 41:59–71.
35. **Aunaas K (2011)** Recent impressions from EPS projects in Japan. Paper presented at the 4th International Conference on EPS Geofoam Blocks in Construction Applications – EPS 2011, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
36. **Awol T.A. (2012)** A Parametric Study of Creep on EPS Geofoam Embankments. Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
37. **Barrett J.C., Valsangkar A.J. (2009)** Effectiveness of connectors in geofoam block construction. *Geotextiles & Geomembranes*, 27(3):211–216.
38. **Bartlett S.F., Lawton E.C. (2008)** Evaluating the seismic stability and performance of freestanding geofoam embankment. Paper presented at the 6th National Seismic Conference on Bridges, Charleston, South Carolina, USA.
39. **Bartlett, S.F. and Farnsworth, C. B. , 2011, “I–15 Reconstruction and Long–Term Embankment Monitoring Study, Final Report,”**Prepared for the Utah Department of Transportation Research Division, Report, Oct. 2011
40. **Bartlett, Steven, Negussey, Dawit, Farnsworth Clifton, Stuedlein, Armin.** Construction and Long–Term Performance of Transportation Infrastructure Constructed Using EPS Geofoam on Soft Soil Sites in Salt Lake Valley, Utah [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)
41. **Bartlett, S. F. and Neupane, R., 2016, “Seismic Evaluation of Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Bridge System for Overpass Structures,”** Technical Report Prepared for the Mountain Plains Consortium and the Norwegian Public Road Administration,
42. **Beinbrech G., Hillmann R. (1997)** EPS in road construction—Current situation in Germany. *Geotextiles & Geomembranes*, 15(1–3):39–57.
43. **Brattensborg G. (1984)** Ekspandert polystyren i vegbygging. Hovedoppgave, Institutt for geoteknikk og fundamenteringslære, NTH, Trondheim.
44. **Brekke, L. M. M. (2016).** [En studie av brufundamentering på EPS–fylling på bløt grunn NTNU 2016.](#)

45. **Burugupelly N. K. and Dasaka S K. 2020.** Effect of EPS Geofoam on Lateral Earth Pressure Reduction – A Numerical Study. Proceedings of Indian Geotechnical Conference, Andhra University, Visakhapatna
46. **Duřkov M., Nijhuis E. (2011)** Lightweight road embankments for the crossover of the N207 over the railway Alphen A/D Rijn–Gouda. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
47. **EPS Development Organization (EDO) (1996)** Proceedings of International Symposium on EPS Construction Method, Tokyo.
48. **EPS Industry Alliance.** Expanded polystyrene (EPS) geofoam applications & technical data. Crofton, MD, USA.
49. **El-kady M.S., Alzara M.A., Farouk M.F.** Structural Engineering Department, Faculty of Engineering, Zagazig University, Zagazig, Egypt) ([PDF](#)) [Reduction of lateral earth pressure using Geo-foam blocks](#)
50. **Ertugrul O.L., Trandafir A.C. (2011)** Reduction of lateral earth forces acting on rigid nonyielding retaining walls by EPS geofoam inclusions. Journal of Materials in Civil Engineering, 23(12):1711–1718.
51. **Fan K, Yang G, Zou W, Han Z, Shen Y.** Lateral earth pressure of granular backfills on retaining walls with expanded polystyrene geofoam inclusions under limited surcharge loading.
52. **Farnsworth C.B., Bartlett S.F., Negussey D., Stuedlein A.W. (2008)** Rapid construction and settlement behavior of embankment systems on soft foundation soil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 134(3):289–301.
53. **Freestanding geofoam embankment.** Paper presented at the 6th National Seismic Conference on Bridges, Charleston, South Carolina, USA.
54. **Frydenlund T.E., et al. (1997)** Lightweight Filling Materials – Matériaux Légers Pour Remblais. PIARC, Paris.
55. **Frydenlund T.E. (1986)** Superlight fill materials. Meddelelse nr. 60, Veglaboratoriet, Oslo.
56. **Frydenlund T.E. (1991)** Seminar on the use of EPS in road construction. Intern rapport nr. 1511, Veglaboratoriet, Oslo.
57. **Frydenlund T.E. (2001)** EPS – Den lette løsningen. Intern rapport nr. 2209, Vegteknisk avdeling, Vegdirektoratet, Oslo.
58. **Færgestad A. (1974)** Lette fyllinger av skumplast. Diplomoppgave, NTH.
59. **Herle V (2011)** Design and monitoring of EPS embankment on D1 near Ivanovice in the Czech Republic. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
60. **Hermansen, S. (2012).** [Anvendelser av EPS i vegbygging – med fokus på brofundamentering og myrbro NMBU](#)
61. **Hjorteset 1987,** [Spenningsfordeling i EPS som konstruksjonsmateriale Diplomoppgave fra Institutt for geoteknikk og fundamenteringslære.](#)

62. **Horvath John S.** [ER2010](#) Lateral Pressure Reduction on Earth-Retaining Structures Using Geofoams: Correcting Some Misunderstandings
63. **Håøya Arnt-Olav, Haagenen Kim, Aabøe Roald.** Environmental risks assessments of flame-retardant found in EPS bridge embankments. ([eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)).
64. **Kawashima Y., Atsushi N., Kawagishi Y., et al.** (2001) Construction of high EPS embankment in heavy snowfall region. Paper presented at the 3rd International Conference on EPS Geofoam Blocks in Construction Applications, Salt Lake City, USA, 10-12 December 2001. *ast. Norsk Plast*, nr. 10.
65. **Konno H., Nakono O., Kishi N., et al.** (2001) A practical design method of three-layered absorbing system. Paper presented at the 3rd International Conference on EPS Geofoam Blocks in Construction Applications, Salt Lake City, USA, 10-12 December 2001.
66. **Kubota T** (2011) Case history of EDO-EPS method in Japan. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6-8 June 2011.
67. **Lindquist K., Tjernsbekk J.A., Stang T.A., Andersen L-M.B.** (2011) Ekspandert polystyren i vegbygging – en tilstandsundersøkelse av tidligere EPS-fyllinger. VD Rapport nr. 33, Vegdirektoratet, Oslo.
68. **Lutenegger A.J, Ciufetti M.** PROJECT NO. RSCH010-983 VERMONT DEPARTMENT OF TRANSPORTATION “Full-Scale Pilot Study to Reduce Lateral Stresses in Retaining Structures Using GeoFoam“
69. **Mandal J.N.** (2017) Geosynthetics engineering: In theory and practice. Research Publishing Services, Singapore, pp. 1352.
70. **Magnan J.P., & Serratrice,** Propriete mecanique du polystyrene expanse pour ses application en remblais routier. Bulletin ICPC , France, 1989
71. **Mann G., Stark T.D.** (2007) Slope stabilization using geofoam. Paper presented at Geo-Denver 2007: New Peaks in Geotechnics, GSP 161 Embankments, Dams, and Slopes, ASCE, 18-21 February 2007.
72. **Muhammad Imran Khan, Mohamed A. Meguid** (2021) **McGill University.** A Numerical Study on the Role of EPS Geofoam in Reducing Earth Pressure on Retaining Structures Under Dynamic Loading. [A Numerical Study on the Role of EPS Geofoam in Reducing Earth Pressure on Retaining Structures Under Dynamic Loading](#)
73. **Neupane R** (2015) Expanded polystyrene geofoam embankment for support of railways and bridges. Ph.D. Dissertation, University of Utah, Salt Lake City, UT, USA.
74. **Norwegian Road Research Laboratory (NRRL)** (1987) Plastic Foam in Road Embankments. Meddelelse nr. 61, Oslo.
75. **Norwegian Road Research Laboratory (NRRL)** (1992) Use of expanded polystyrene in road embankments – Design, construction and quality assurance. Public Roads Administration, Oslo, Norway.

76. **Nishi T, Konami T , KubotaT , Kyokawa H , Koseki J and Yasuhara K**, CPC Evaluation of EPS embankment behavior during large-scale earthquakes by full-scale shaking table tests
77. **O'Brian A.S.** (2001) Design and construction of the UK's first polystyrene embankment for railway use. Paper presented at the 3rd International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Salt Lake City, USA, 10-12 December 2001.
78. **O'Brien A.S.** (2001) Design and construction of the UK's first polystyrene embankment for railway use. Paper presented at the 3rd International Conference on EPS Geofoam Blocks in Construction Applications, Salt Lake City, USA, 9-11 December 2001.
79. **Padade A.H., Mandal J.N.** (2014) Expanded polystyrene-based geomaterial with fly ash. International Journal of Geomechanics, ASCE, 14(6):06014013.
80. **Papacharalampous G., Sotiropoulos E** (2011) First time application of expanded polystyrene in highway projects in Greece. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6-8 June 2011.
81. **Proceedings of the 3rd International Conference on Geofoam** (2001) Salt Lake City, USA, 10-12 December 2001.
82. **Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications – EPS 2011** (2011) Lillestrøm, Norway, 6-8 June 2011.
83. **Refsdal G.** (1977) Et alternativt material for oppbygning av lette fyllinger. Nordisk Vegteknisk Forbund 12. kongress, Esbo, Finland.
84. **Refsdal G.** (1977) Polystyrenblokker til vegbygging. Norsk Plast, nr. 9, 1977.
85. **Refsdal G.** (1977) Polystyren-hårdsikum til vegbygging på myk jordbunn. Norsk Plast, nr. 3, 1977.
86. **Reuter G., Rutz J.** (2000) A lightweight solution for landslide stabilization. Geotechnical Fabrics Report, 18(7):42-43.
87. **Reuter G.R.** (2001) Use of geofoam for landslide stabilization – CTH “A”, Bayfield County, Wisconsin. Paper presented at the 3rd International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Salt Lake City, USA, 10-12 December 2001.
88. **Ruistuen H.** (1982) EPS in Lightweight Embankments in Norway. Intern rapport nr. 1050, Veglaboratoriet, Oslo.
89. **Rygg N.** (1974) Vegbygging på bløt grunn. Intern rapport nr. 533, 800 og 1386, Veglaboratoriet, Oslo.
90. **Shinntani M** (2011) Embankment constructions applying buoyancy-resistant EDO-EPS blocks. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications – EPS 2011, Lillestrøm, Norway, 6-8 June 2011.
91. **Skuggedal H., Aabøe R.** (1991) Temporary overpass bridge founded on expanded polystyrene. Proceedings XECSMFE, Volume 2, Florence, May 1991.
92. **Spasojević S., Mitrović P., Vujanić V., et al.** (2011) The application of EPS in geotechnical practice: a case study from Serbia. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6-8 June 2011.

93. **Stark T.D., Arellano D., Horvath J.S. et al.** (2004) Guideline and recommended standard for geofoam applications in highway embankments. NCHRP Report 529, Transportation Research Board, Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/13759>.
94. **Stark T.D., Arellano D., Horvath J.S., Leshchinsky D.** (2004) NCHRP Web Document 65: Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments. Transportation Research Board, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.17226/21944>
95. **Stark, T. D., Bartlett, S. F. and Arellano, D., 2012**, "Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications and Technical Data, The EPS Industry Alliance, 1298 Cronson Blvd., Suite 201, Crofton, MD 21114.
96. **Stuedlein A., Negussey D.** (2013) Use of EPS geofoam for support of a bridge. Paper presented at Geo-Congress 2013: Honoring Robert D. Holtz II, San Diego, California, USA, 3–7 March 2013.
97. **Tefera T., Aabøe R., Bruun, H., Aunaas, K. (2011).** FEM simulation of full scale and laboratory models test of EPS. The 4th International Conference on Geofoam blocks in Construction Applications, EPS 2011, Norway. [Ekspandert polystyren \(EPS\) i vegbygging | Statens vegvesen](#)
98. **Tepper H** (2011) EU product standard for EPS and performance requirements. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
99. **The EPS Industry Alliance.** Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data
100. **Tsukamoto H** (2011) History of R&D and design code for EDO–EPS method in Japan. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
101. **Tsukamoto H** (1996) Slope stabilization by the EPS method and its applications. Paper presented at the International Symposium on EPS Construction Method (EPS Tokyo '96), EPS Construction Method Development Organization, Tokyo, Japan, pp. 362–380
102. **Universal construction foam.** EPS29 Geofoam Used to Reduce Lateral Pressure on Concrete Wall
103. **Vaslestad J., Murad S.S., Johansen T.H., et al.** (2011) Load reduction and arching on buried rigid culverts using EPS. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
104. **Veglaboratoriet, Oslo** (1987) [Generell institusjonsreferanse uten tittel].
105. **Vaslestad, J., Bartlett, S., Aabøe, R., Burkart, H., Ahmed, T., Arellano, D., (2019).** [\(7\) \(PDF\) Bridge Foundations Supported by EPS Geofoam Embankments on Soft Soil](#)
106. **Youwai S., Kongkitkul W., Sripobink T., et al.** (2011) Application of EPS for remedial work of bridge bearing unit on Bangkok Soft Clay: A case study. Paper presented at the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
107. **Zarnani S., Bathurst R.J.** (2008) Numerical modeling of EPS seismic buffer shaking table test. Geotextiles & Geomembranes, 26:371–383.

108. **Özer A.T** (2016) Laboratory study on the use of EPS–block geofoam for embankment widening. *Geosynthetics International*, 23(2):71–85.
109. **Özer A.T., Akay O., Fox G.A., et al.** (2014) A new method for remediation of sandy slopes susceptible to seepage flow using EPS–block geofoam. *Geotextiles & Geomembranes*, 42(2):166–180.
110. **Özer A.T., Akay O.** (2016) Interface shear strength characteristics of interlocked EPS–block geofoam. *Journal of Master Civil Engineering*, 28(4).
111. **Özer A.T., Akinay E** (2017) Short term performance evaluation of geofoam block embankment using field instrumentations. 7th Geotechnics Symposium, İstanbul, Turkey, 22–24 November 2017.
112. **Özer A.T., Danyıldız E., Akinay E., et al.** (2017) Using geofoam blocks to construct roadway embankments over buried utility corridors: a case study. Paper presented at the 7th National Geosynthetics Conference G7 2017, İstanbul, Turkey, 11–12 May 2017 (in Turkish).



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag