

Del 3: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging

Design og eksempler på bruk av ekspandert polystyren

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1019



Tittel

Del 3: 50 år med lette masser av ekspandert polystyren i vegbygging

Undertittel

Design og eksempler på bruk av ekspandert polystyren

Forfatter

Roald Aabøe

Avdeling

Vegutforming

Seksjon

Klima og geofag

Rapportnummer

1019

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.

Innholdet i rapportens Del 3 omhandler design og eksempler på bruk av EPS, og er hentet fra fem internasjonale konferanser, rapporter fra Statens vegvesen, master og bacheloroppgaver samt litteratur fra internasjonale kilder. Målet har vært å gi et bilde av de ulike anvendelsene som benyttes både i Norge og internasjonalt og inspirere til videre bruk av metoden.

Title

Part 3: 50 years of light expanded polystyrene materials in road construction

Subtitle

Design and examples of the use of expanded polystyrene

Author

Roald Aabøe

Department

Road Design

Section

Geotechnics and Climate Adaptation

Report number

1019

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, sustainability

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.

The content of Part 3 of the report focuses on the design and examples of the use of EPS, and is drawn from five international conferences, reports from the Norwegian Public Roads Administration, master's and bachelor's theses, as well as literature from international sources. The goal has been to provide an overview of the various applications used both in Norway and internationally and to inspire further use of the method.

INNHOOLD

1	Innledning.....	8
2	Byggeprosedyrer	11
2.1	Forslag til designkart	12
2.2	Valg av løsning	13
2.3	Materialkrav	13
2.4	Utnyttelse av materialet	16
2.5	Egendeformasjon	16
2.6	Jevnhet og toleranse	16
2.7	Rekkverk.....	18
2.8	Håndtering av horisontalkrefter	19
2.9	Beskyttelse av EPS fyllinger	21
2.10	Klima og miljøhensyn	22
2.11	Kvalitetskontroll.....	24
2.12	Gjenbruk.....	25
3	Vegbygging på områder med dårlige grunnforhold.....	26
4	Kompenserte løsninger.....	28
4.1	Rv 159 Flom bru (Den første EPS fyllingen i 1972)	28
4.2	Rv 154 Solbotmoan (1975)	29
4.3	E6 ved Vestby (1995)	29
4.4	E18 Lysakerkrysset (1988)	30
4.5	E16 ved Vøyenenga (2019)	31
4.6	E18 Farrisbrua med EPS i landkar og fylling (2018).....	32
4.7	Fv 420 ved Sangereid (2016).....	33
5	Vertikale løsninger	34
5.1	Arealbesparende løsninger	34
5.2	Rv 5 Stedjeberget.....	36
5.3	Rv 315 Nyveien	37
5.4	E6 ved Nettet	37
5.5	Rv 181 Sundet bru	38
5.6	Trikkelinje i Gaustadbekkdalen/Oslo	39
5.7	Arendal Øst-Vest. Barbudalen.....	40
5.8	Fv 65 Vindøla Røv	41
5.9	Skråningsstabilisering	42
5.9.1	Vertikale og høye EPS fyllinger i Japan	44
5.9.2	Yamagata Expressway	44
5.9.3	Otario Road (Japan)	45
6	Bruk i jernbanefyllinger	46
6.1	EPS fylling ved Bøle Jernbanebru	46
6.2	Jernbaneundergang i Fredrikstad	47
6.3	Høyhastighetsbane ved Manchester.....	48

7	Prosjekter i USA.....	50
7.1	I 15 Salt Lake City	50
7.2	Pendel og bybanetog i Salt Lake City med bruk av EPS.....	51
7.3	US 36 mellom Denver og Boulder.....	52
7.4	Bruk av EPS på flyplasser.....	54
7.5	Redusert arealbruk	54
7.6	Flombeskyttelse.....	55
8	Flytende konstruksjoner med EPS.....	56
8.1	Platebru over neddykkede EPS-blokker, Rv 610 i Sande i Sunnfjord.....	56
8.2	Prosjekter med utnyttelse av oppdriftsegenskaper i Nederland/Japan	58
9	Direkte fundamentering på EPS fyllinger.....	60
9.1	E6 Løkkeberg. Direkte fundamentering av brulandkar i EPS-fylling.....	61
9.2	Reparasjon av Hjelmungen bru (1996) og flytting (2006).....	62
9.3	E6 Grimsøyveien bru	64
9.4	Sammenligning av fotgjengerbruer fundamentert på EPS-fylling med andre fundamenteringsmetode	64
9.5	Fv.717 Sund-Bradden, Sundsbrua.....	66
9.6	Forenklet bruløsning, Sem i Vestfold	68
9.7	Utskifting av en stålbru (Upstate New York)	69
9.8	Prosjekter med behov for svært kort byggetid	69
9.8.1	Nishinomiya city, jernbaneplattform.....	69
9.8.2	Rehabilitering av motorvei i Japan.	70
9.8.3	E75 ved Thermopylene, Hellas.....	71
9.9	Bruk av EPS til lastreduksjon på rør under høye fyllinger	72
9.9.1	Referanser om bruk av EPS til lastreduksjon	72
9.9.2	Utnyttelse av lastreduksjon på setningsfri tunnelkonstruksjon.....	76
9.9.3	Reduksjon av horisontal trykk med kompressible materialer av EPS	76
9.9.4	Energi absorbering	77
9.9.5	EPS-fyllinger utsatt for seismiske laster	78
10	Andre løsninger	80
11	Referanser	81

Figuroversikt

FIGUR 1	INVITASJON TIL DEN FEMTE INTERNASJONALE KONFERANSEN OM EPS PÅ KYPROS / TYRKIA.....	9
FIGUR 2.	INNOVATIV LØSNING FOR FUNDAMENTERING DIREKTE I EN EPS FYLLING. E6 HJELMUNGEN.	10
FIGUR 3.	GUIDELINES FOR GEOFOAM APPLICATIONS IN SLOPE STABILITY PROJECTS (2013). THE NATIONAL ACADEMIES PRESS .	12
FIGUR 4.	TANNEDE TØMMERFORBINDERE FOTO: ROALD AABØE	14
FIGUR 5.	OPPDRIKT I EPS BLOKKER. RV 159 . FOTO: ARVID SAGBAKKEN, STATENS VEGVESEN	15
FIGUR 6.	LEGGEANVISNING FOR EPS BLOKKER. ILLUSTRASJON: N200 STATENS VEGVESEN	17
FIGUR 7.	TIVLSOM KVALITET AV EPS FYLLING. FOTO R. AABØE STATENS VEGVESEN.....	17
FIGUR 8.	EKSEMPEL PÅ INSTALLASJON AV REKKVERK I EN VERTIKAL EPS FYLLING. (V221)	18
FIGUR 9.	EKSEMPEL PÅ FORANKRING AV REKKVERK I EN EPS FYLLING. (V221).....	18

FIGUR 10. REDUSERT HORIZONTALTRYKK. ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN	19
FIGUR 11. ANTENNING AV EPS FYLLINGER. E6 VESTBY 1995. FOTO: STATENS VEGVESEN	21
FIGUR 12. SKADE FRA BENSINLEKKASJE I JAPAN. FOTO: EDO	22
FIGUR 13. E6 HJELMUNGEN. MILJØUNDERSØKELSE. FOTO: TOR HELGE JOHANSEN, STATENS VEGVESEN	23
FIGUR 14. UTTAK AV PRØVER TIL KVALITETSKONTROLL. ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN	24
FIGUR 15.A) LAGER AV EPS BLOKKER FRA LØKKEBERG BRU, B) GJENBRUK AV EPS BLOKKER FRA LØKKEBERG BRU (FOTO: STATENS VEGVESEN)	25
FIGUR 16. TYPISK TVERRPROFIL AV EN VEG BYGD PÅ DÅRLIG GRUNN MED EPS SOM LETT MASSE. FIGUR FRA: EPS GEOFOAM APPLICATIONS & TECHNICAL DATA.PDF	26
FIGUR 17. TYPISK PROFIL AV EPS FYLLING VED UTVIDELSE AV VEG. FIGUR FRA: EPS GEOFOAM APPLICATIONS & TECHNICAL DATA.PDF	27
FIGUR 18. RV 159 FLOM BRUER. VERDENS FØRSTE EPS FYLLING UNDER BYGGING OG SENERE OVERSVØMMET I EN FLOMSITUASJON. FOTO: GEIR REFSDAL OG ARVID SAGBAKKEN, STATENS VEGVESEN	28
FIGUR 19 SOLBOTMOAN BLE BYGD I 1975. (ESSO MAGAZINE, 1980)	29
FIGUR 20. E6 VESTBY. EPS FYLLING KOMBINERT MED LETTKLINKER. PROFIL SOM VISER REKKVERKSINNFESTING. FOTO STATENS VEGVESEN	30
FIGUR 21. E18 LYSAKERKRYSSET FUNDAMENTERT PÅ EPS. ILLUSTRASJON STATENS VEGVESEN	30
FIGUR 22. E16 VED WØYENENGA. FOTO: MARI GISVOLD GARATHUN, TEKNISK UKEBLAD. 2016	31
FIGUR 23. E18 FARRIS BRUA 2018. BRUK AV EPS I LANDKAR OG FYLLINGER. FOTO: STATENS VEGVESEN	32
FIGUR 24. EPS FYLLING PÅ FV 420 SANGEREID FOTO: VESLEMØY GARDÅ, STATENS VEGVESEN	33
FIGUR 25. TVERRPROFIL AV EPS FYLLING VED FV 420 SANGEREID	33
FIGUR 26. TVERRPROFIL AV EN TYPISK EPS KONSTRUKSJON MED VERTIKAL AVSLUTNING. FIGUR: STATENS VEGVESEN	34
FIGUR 27 EKSEMPLER PÅ VERTIKALE AVSLUTNINGER MED EPS OG FORSKJELLIGE LØSNINGER PÅ FRONTEN	35
FIGUR 28. STØPING AV BETONGPLATE MELLOM EPS LAG. FOTO STATENS VEGVESEN	36
FIGUR 29. EKSEMPLER PÅ VERTIKALE FYLLINGER MED EPS. (RV 5 STEDJEBERG, NORGE (FOTO OG ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN)	36
FIGUR 30. RV 315 NYVEIEN VED HOLMESTRAND. FOTO: ROALD AABØE	37
FIGUR 31. E6 (DAVÆRENDE) VED NESSET. ENKLE EPS UTFORMINGER MED VERTIKALE VEGGER. FOTO:: ROALD AABØE, STATENS VEGVESEN	37
FIGUR 32. RV 181 SUNDET BRU. VERTIKAL EPS FYLLING MED SPRØYTEBETONG KOMBINERT MED EN «ARMERT JORD» VEGG. FOTO: STATENS VEGVESEN	38
FIGUR 33. NY TRIKKELINJE VED KRYSSING AV GAUSTADBEKKDALEN, OSLO. FOTO; ROALD AABØE STATENS VEGVESEN	39
FIGUR 34. NY TRIKKELINJE VED KRYSSING AV GAUSTADBEKKDALEN, OSLO. KLEDNING MED SPRØYTBETONG. FOTO: STATENS VEGVESEN	39
FIGUR 35. ARENDAL ØST– VEST. EPS FYLLING. FOTO: STATENS VEGVESEN	40
FIGUR 36. ARENDAL ØST– VEST. TVERRPROFIL MED DETALJER. ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN	40
FIGUR 37. TVERRPROFIL OG LENGDEPROFIL AV FUNDAMENT FOR FV 60 VINDØLA – RØV. FOTO: EMIL CEDERSTRØM NORCONSULT OG TEGNINGER FRA MØRE OG ROMSDAL FYLKES	41
FIGUR 38. SIKRINGSHÅNDBOKA: MODUL K0.305: MASSEUTSKIFTNING MED LETTE MASSER I KVIKKLEIREOMRÅDER (PRISIPPSKISSE FRA NVE SIKRINGSHÅNDBOKA)	42
FIGUR 39. BRUK AV EPS I EN SKREDSITUASJON. US 160, DURANGO, COLORADO. FIGUR HENTET FRA GUIDELINES FOR GEOFOAM APPLICATIONS IN SLOPE STABILITY PROJECTS.PPTX	43
FIGUR 40. YAMAGATA EXPRESSWAY (EPS 2018, SPRINGER)	44
FIGUR 41. OTARIO ROAD (JAPAN). VERDENS HØYESTE (TROLIG) EPS FYLLING (17 M). FOTO: KRISTIAN AUNAAS STATENS VEGVESEN, ILLUSTRASJON: EDO	45

FIGUR 42. OTARIO ROAD (JAPAN). BYGGING AV 17 METER HØY EPS FYLLING. BRUK AV VARMETRÅD TIL KUTTING AV BLOKKER. FOTO K. AUNAAS/ A.SLOBODINSKI	46
FIGUR 43. BØLE JERNBANEBRU. FØRSTE EPS FYLLING FOR BANE. ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN	47
FIGUR 45. ST. CROIX. TVERRPROFIL AV MIDLERTIDIG OG FERDIG OMLAGT JERNBANE. ILLUSTRASJON: ROALD AABØE, STATENS VEGVESEN	47
FIGUR 44. ST CROIX OMLEGGING AV JERNBANE. FOTO STATENS VEGVESEN.....	47
FIGUR 46. LENGDEPROFIL AV HØYHASTIGHETSBANE MED EPS BLOKKER VED MANCHESTER. ILLUSTRASJON: O'BRIEN MOTT MACDONALD	49
FIGUR 47. TVERRPROFIL AV HØYHASTIGHETSBANE VED MANCHESTER MED FORSKJELLIGE KVALITETER AV EPS. ILLUSTRASJON: O'BRIEN MOTT MACDONALD.....	49
FIGUR 48. I 15 MOTORVEGPROSJEKT BYGGET I FORBINDELSE MED VINTEROLYMPIADEN 2001. FOTO: UTAH DEPARTMENT OF TRANSPORTATION RESEARCH DIVISION.....	50
FIGUR 49. BRUK AV EPS PÅ PENDELTOG. FOTO OG ILLUSTRASJON: EPS GEOFOAM APPLICATIONS & TECHNICAL DATA.PDF (UTAH.EDU)	51
FIGUR 50. US 36 MELLOM DENVER OG BOULDER. FOTO: COLORADO.DOT	52
FIGUR 51. BESLUTNINGSSTØTTE I DET NASJONALE REGELVERKET (NCHRP)	53
FIGUR 52 AREALUTFORMING OG STØYVOLLER MED EPS. EPS GEOFOAM APPLICATIONS & TECHNICAL DATA.PDF (UTAH.EDU) ...	54
FIGUR 53. BRUK AV EPS I ELV/BEKKEFORBYGNING.....	55
FIGUR 54. PLATEBRU OVER NEDDYKKET EPS FYLLING. FOTO: SKILDBREI. STATENS VEGVESEN. ILLUSTRASJON. ROALD AABØE	56
FIGUR 55. RV 610. REGULERING SLIK AT VANNSTANDEN HOLDES KONSTANT. FOTO: SKILDBREI. STATENS VEGVESEN	56
FIGUR 56. MYRBRUA AV EPS 30 ÅR ETTER BYGGING. FOTO SIMEN HERMANSEN.	57
FIGUR 57.DRENERING / INFILTRERING AV VANN I EN NEDDYKKET KONSTRUKSJON I NEDERLAND. FOTO ROALD AABØE.....	58
FIGUR 58. FLYTENDE HAGER I AMSTERDAM.	58
FIGUR 59. BRUK AV SPESIALBLOKKER FOR Å REDUSERE OPPDRIFT FRA EN MYR I JAPAN. FOTO FRA EDO (JAPAN)	59
FIGUR 60. DIREKTE FUNDAMENTERING PÅ EPS PÅ PERMANENTE OG MIDLERTIDIGE BRUKONSTRUKSJONER SAMT GJENBRUK AV EPS MATERIALE. ILLUSTRASJON OG BILDER: STATENS VEGVESEN	60
FIGUR 61. E6 LØKKEBERG BRU. FUNDAMENTERING AV BRU PÅ EN EPS FYLLING. ILLUSTRASJON: ROALD AABØE.	61
FIGUR 62. FUNDAMENTERING AV LØKKEBERG BRU DIREKTE PÅ FYLLINGER AV EPS-BLOKKER, 1989 (STATENS VEGVESEN)	61
FIGUR 63. PRINSIPPSKISSE FOR REFUNDAMENTERING AV HJELMUNGEN BRU. ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN	62
FIGUR 64. OPPBYGGING AV EPS-FYLLINGER. BRUA BÆRES AV MIDLERTIDIGE UNDERSTØTTELSE. FOTO: TOR HELGE JOHANSEN. STATENS VEGVESEN	63
FIGUR 65 FYLLINGER FOR INTERIMSRU OVER E6 VED GRIMSØYVEGEN FOTO: TOR HELGE JOHANSEN. STATENS VEGVESEN	64
FIGUR 66. RV 109 TVERRPROFIL AV LANDKAR. ILLUSTRASJON: STATENS VEGVESEN	65
FIGUR 67. RV 109 ROLVSØYVEGEN. GANGBRUER FUNDAMENTERT PÅ EPS. FOTO: STATENS VEGVESEN	66
FIGUR 68. UTNYTTELSE AV OPPDRIFT UNDER ET FUNDAMENT FOR Å ETABLERE TILSTREKKELIG SIKKERHET OG REDUSERE PÅHENGSKREFTER. ILLUSTRASJON: EMIL CEDERSTRÖM, MULTICONSULT	66
FIGUR 69. GS VEG MED EPS OG SKUMGLASS. FOTO: EMIL CEDERSTRÖM, MULTICONSULT	67
FIGUR 70. FORENKLET BRULØSNING MED EPS-BLOKKER. FOTO OG ILLUSTRASJON: ROALD AABØE.....	68
FIGUR 71. FIGUR FRA 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOFOAM BLOCKS IN CONSTRUCTION APPLICATIONS: PROCEEDINGS OF EPS 2018 SPRINGERLINK	69
FIGUR 72. JERNBANEPLATTFORM I JAPAN UNDER BYGGING. FOTO:EDO.....	70
FIGUR 73. EDO-EPS METHOD APPLIED FOR REHABILITATION OF EXPRESSWAY HIT BY EARTHQUAKE CENTRAL NIPPON EXPRESSWAY. FOTO OG ILLUSTRASJON: EDO.....	70
FIGUR 74. 65.000 M ³ EPS-BLOKKER PÅ E 75 VED THERMOPYLENE, HELLAS (BILDE: SOTIROPOULOS & ASSOCIATES SA)	71
FIGUR 75. KORRUGERT STÅLRØR HVOR EPS OPTIMALISERER KONSTRUKSJONEN. N222 HAAG. FOTO: INFRADELFT	76

FIGUR 76. REDUKSJON AV HORIZONTALTRYKK VED HJELP AV KOMPRESSIBLE MASSER SOM LAVDENSITETS EPS KVALITET (ETTER JOUSHIDEH OG ARELLANO).....	77
FIGUR 77. GEOFOAM BLOCKS APPLIED FOR ENERGY ABSORPTION ON ROCK FALL PROTECTION TUNNEL IN TURKEY (FOTO: CURTESY OF EPSDER, TURKEY)	77
FIGUR 78. HENTET FRA: VIEW OF AN EXPANDED POLYSTYRENE FOAM (EPS) ROAD ROBUST TO SUCCESSIVE GREAT KUMAMOTO EARTHQUAKES IN 2016 . FOTO: EDO	78
FIGUR 79. ILLUSTRASJON AV HVELVBRU MED EPS. ILLUSTRASJON: GEIR REFSDAL	80

Tabelloversikt

TABELL 1. KONTROLL AV FYLLINGER	24
---------------------------------------	----

1 Innledning

I Norge har Statens vegvesen en lang tradisjon for å bruke ulike typer lettfyllingsmaterialer i vegbygging. De siste 70 årene har organiske materialer som sagflis og barkrester fra treindustrien vært brukt til slike formål. I tillegg har avfallsmaterialer fra produksjon av lettbetongblokker og lettklinker (Leca), samt skumglass (Glasopor og Hasopor) de siste 25 årene, blitt benyttet i stor utstrekning.

Etter 1972 har blokker av ekspandert polystyren (EPS) blitt omfattende brukt i vegutbyggingsprosjekter for en rekke forskjellige bruksområder, også inkludert blokker produsert fra resirkulert EPS-materiale.

Denne rapporten tar for seg hovedtrekkene ved 50 års bruk og utvikling av EPS som lett fyllmasse i både norsk og internasjonal sammenheng. Det har vært et tett internasjonalt samarbeid preget av gjensidig tillit og deling av oppgaver for videre utvikling. Rapporten har som mål å inspirere til videre bruk av metoden og inneholder en rekke eksempler fra hele verden.

Rapporten inkluderer innhold fra tidligere interne rapporter, konferanseinnlegg, artikler i andre sammenhenger og ikke minst dokumentasjon fra master- og bacheloroppgaver. I rapporten har Chat GPT/Copilot blitt brukt til å lage sammendrag av utenlandske rapporter og dette er markert med tekst i kursiv

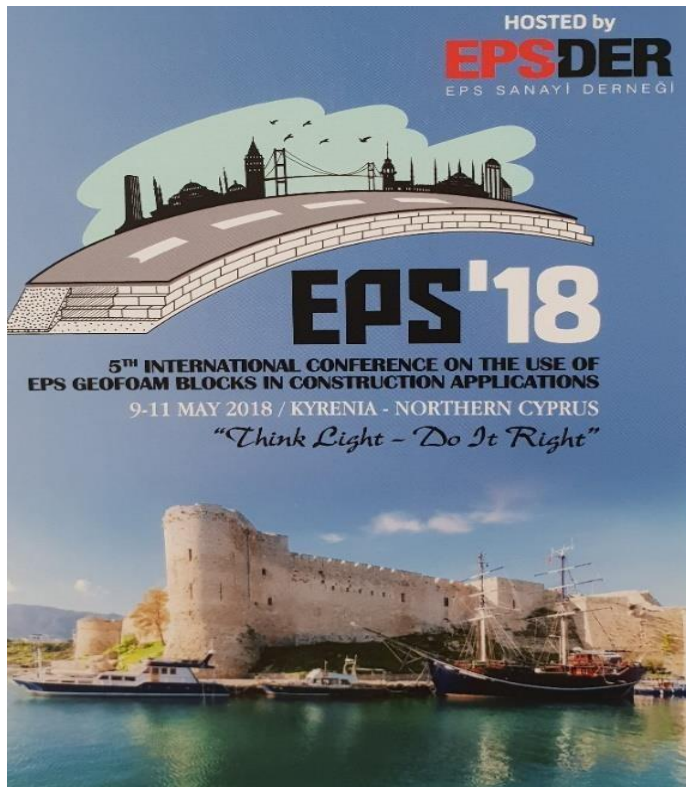
Noen av linkene som det er henvist til er ikke direkte tilgjengelig, noen vil være bak betalingsmur men de fleste gir tilgang som gjest.

50 års erfaringer med 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 EPS i veibygging. 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.

Innholdet i rapportens Del 3 omhandler design og eksempler på bruk av EPS, og er hentet fra fem internasjonale konferanser, interne rapporter fra Statens vegvesen,

samt noe litteratur fra internasjonale kilder. Målet har vært å gi et bilde av de ulike anvendelsene som benyttes både i Norge og internasjonalt i dag.



Figur 1 Invitasjon til den femte internasjonale konferansen om EPS på Kypros / Tyrkia.

Mer litteratur finnes i referanselisten, samt i interne rapporter fra Statens vegvesen (blant annet intern rapport 2209), i tillegg til artikler fra en rekke enkeltpersoner som er omtalt i Del 1.

Det finnes dessuten et stort antall prosjekter fra hele verden, med et bredt spekter av forskjellige anvendelser, som det ikke er mulig å gjengi i denne rapporten. Det anbefales å søke på «Geofoam» i tillegg til EPS (Expanded Polystyrene) for mer informasjon og inspirasjon til videre innovasjon og bruk.

Linker til en rekke amerikanske prosjekter er vist her:

- [Projects — SOFT GROUND ASSOCIATES \(sfb-engineering.com\)](http://www.sfb-engineering.com/projects)
- <https://my.civil.utah.edu/~bartlett/Geofoam/> (samarbeidsprosjekt med Statens vegvesen)
- [Geofoam Research Center \(syr.edu\)](http://www.geofoamresearchcenter.com)

Norges suksess med bruken av denne metoden kan tilskrives en kombinasjon av eksperimentering og innovasjonsvilje, nysgjerrige ingeniører ved Veglaboratoriet på 1960- og 70-tallet, og en systematisk oppfølging av gjennomførte prosjekter over flere tiår. En viktig forutsetning for å lykkes og videreutvikle metoden har vært etableringen av et uformelt, internasjonalt nettverk av eksperter som har samarbeidet tett og arrangert 5 internasjonale konferanser, invitasjon for en slik konferanse er vist

i Figur 1. Ellers vises det til Statens vegvesen rapport nr. 1017. Del 1: 50 år med lette masser av EPS i veibygging. Forskning lønner seg.

I USA har Transportation Research Board (TRB) utarbeidet retningslinjer og regelverk som de enkelte delstatene selv må vurdere om de vil implementere. Blant disse retningslinjene finnes de som bygger sterkt på norske erfaringer med EPS, men som i større grad tilgjengeliggjør og muliggjør raskere bruk av metoden, slik det beskrives senere under amerikanske erfaringer:

- NCHRP guidelines and recommended standard: [NCHRP Report 529 – Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments](#)
- NCHRP Geofoam Applications in the Design and Construction [nchrp_w65.pdf](#)

Begge dokumentene er utviklet under prosjekt 24-11: [Guidelines for Geofoam Applications in](#)

Et sitat, noe omskrevet, fra TRB er dekkende for hvordan EPS-metoden har utviklet seg og nye konsepter og innovative løsninger (som i Figur 2) har blitt tatt i bruk i nye land og delstater: «Ofte er det slik at når en hendelse inntreffer som krever rask handling, åpnes det for innovasjon. Noen ganger er imidlertid den beste innovasjonen teknikker og teknologier som er ukjente eller utestet for de beslutningstakerne som skal håndtere situasjonen. I slike tilfeller kan allerede publisert forskning bidra til å veilede beslutningstakerne, og gi et grunnlag og en begrunnelse for at de velger å ta i bruk tilsynelatende banebrytende teknikker.»



*Figur 2. Innovativ løsning for fundamentering direkte i en EPS fylling. E6 Hjelmungen.
Foto: T. H. Johansen, Statens vegvesen*

2 Byggeprosedyrer

Det har vist seg at variasjonene mellom de ulike lands regler er små. De opprinnelige prosjekteringsreglene har i stor grad blitt beholdt uendret siden starten og har vist seg å være både levedyktige og bærekraftige.

Regelverket for dimensjonering av lette fyllinger av EPS er styrt gjennom:

- EN 14933: [EU Product Standard for EPS and Performance Requirements \(EPS 2011\) European Standard 14933 \(EN 2007\)](#)
- Vegnormal N200 Vegbygging: [Statens vegvesen. N200:2024](#)
- Veiledning V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger fra Statens vegvesen [Håndbok V221](#)
- R210 Laboratorieundersøkelser: [Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser](#)
- Statens vegvesen prosesskoden [Håndbok R761 Prosesskode 1 Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter \(2018\)](#)

I tillegg anbefales meget grundige og detaljerte retningslinjer fra USA. Målet med NCHRP-prosjekt 24-11(01) "Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments" var å utvikle en anbefalt designveiledning for bruk av EPS i fyllinger og tilløpsfyllinger på områder med dårlige grunnforhold. Resultatene fra dette prosjektet er presentert i to rapporter. Den første rapporten inneholder den anbefalte designveiledningen (NCHRP 529) i samsvar med NCHRP 65. Den andre rapporten (NCHRP 65) inkluderer bakgrunnsinformasjon og analyser som ble brukt for å utvikle designveiledningen, samt en oppsummering av de tekniske egenskapene til EPS inkludert en økonomisk analyse av EPS sammenlignet med andre lettfyllings materialer

- NCHRP guidelines and recommended standard: [NCHRP 529 – Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments \(TRB\)](#)
 - NCHRP Geofoam Applications in the Design and Construction [NCHRP 65 – Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments \(TRB\)](#)
 - NCHRP Project 24-11(02): [Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects | The National Academies Press](#)
 - NCHRP: [Overview of the NCHRP Project Provisional Specification \(EPS 2001\)](#)
 - A Framework for the Design Guideline for EPS-Block Geofoam in Slope Stabilization and Repair. [A Framework for the Design Guideline for EPS-Block Geofoam in Slope Stabilization and Repair](#)
-

2.1 Forslag til designkart

I de amerikanske retningslinjene finnes meget gode designkart som beskriver fremgangsmåten for å dimensjonere EPS fyllinger. Et eksempel er vist i Figur 3.



Figur 3. Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects (2013). The National Academies Press

2.2 Valg av løsning

På svak grunn er et alternativ at vegfyllinger bygges opp med lette fyllmasser for å sikre stabiliteten eller unngå store setninger.

Ved valg av type lettfylling er flere kriterier avgjørende. Hovedsakelig dreier det seg om hvor mye avlastning grunnen trenger, hvilken massetype som er økonomisk fordelaktig å bruke, samt hvordan materialenes egenskaper utvikler seg over tid.

Når geotekniske forhold tilsier at vekten på fyllingen er avgjørende for stabilitet eller setningsforhold, har bruk av EPS-blokker vist seg å være en hensiktsmessig løsning.

Vegfyllinger av EPS skal utformes og dimensjoneres slik at beregnede stabilitets- og setningsforhold er akseptable. Partialfaktor skal være i samsvar med øvrige geotekniske beregninger. Partialfaktor for materialegenskaper skal også være som for øvrige geotekniske beregninger.

Metoden kan blant annet benyttes til oppbygging av vegfyllinger eller støttemurkonstruksjoner for:

- reduksjon av last på undergrunn, både for nye veger og eksisterende veger med setningsskader.
- reduksjon av jordtrykk mot støttemurer og landkar.
- utjevning av differensialsetninger i overgang til konstruksjoner.
- utbedring av rasområder.
- kompensert fundamentering (plassbesparende tiltak).
- utnytting av oppdriftsegenskaper (flytende veger).
- direktefundamentering.
- rask utførelse.

2.3 Materialkrav

Kravene til bruk av EPS i vegkonstruksjoner er beskrevet i N200 Vegbygging

[N200:2Statens vegvesen. N200:2024](#) og er hentet fra standarden NS-EN 14933.

Utstyr, testing, registrering og rapportering av trykkfasthet er beskrevet i R210

Laboratorieundersøkelser. [Statens vegvesen: Laboratorieundersøkelser: retningslinje \[Håndbok R210\]](#). Noen av kravene i N200 er gjengitt og omtalt i dette kapitlet.

Når det gjelder gjenbrukt EPS, anbefales det å følge de klassene/nivåene og egenskapene som er beskrevet i NS-EN 14933. Minste sidekant for gjenbrukt materiale er 45 cm.

Det er en forutsetning at EPS beskyttes mot kjemisk og mekanisk påvirkning som kan påvirke materialegenskapene.



Figur 4. Tannede tømmerforbindere Foto: Roald Aabøe

Da bruken av EPS-blokker som lett fyllmasse i vegfyllinger ble introdusert, var det usikkerhet rundt friksjonen mellom blokkene og mulige blokkbevegelser både under konstruksjon og senere på grunn av trafikkbelastninger. For å eliminere slike risikoer ble og blir tannede tømmerforbindere både i stål (Figur 4) og i plast brukt for å binde blokkene sammen. Kravene i N200 er at blokkene skal sikres mot forskyvning, både midlertidig og permanent og at blokklåser (som blant annet tømmerforbindere) kan brukes.

Friksjonskoeffisienten mellom tilstøtende blokker er relativt høy ($\mu = 0,7$), og det har vist seg at når fyllingen er fullført kan den interne friksjonen være tilstrekkelig til å opprettholde en stabil struktur. Vanlig praksis de senere årene i Norge har vært å bruke blokklåser mellom de øvre lagene av en EPS fylling som en sikkerhet mot bremsekrefter og eventuelt andre horisontalkrefter samt som en sikkerhet mot sterk vind i byggefasen (sugekrefter som kan løfte og flytte enkeltblokker (eller flere).

I områder med seismisk aktivitet vil tømmerforbindere e.l bidra til å hindre at enkeltblokker sklir og i Japan har de løst dette med bruk av Joint metal binders (JMB) som er beskrevet i kap 6.9 og er en variant av tømmerforbindere. Det å lime blokkene sammen er også en prosedyre som er kjent for å ha blitt anvendt i Japan. Liming vil trolig gjøre det vanskelig å gjenbruke blokkene.

Ikke-flammehemmende EPS-blokker skal benyttes i Statens vegvesen og under byggeprosessen og utlegging av EPS blokkene bør det være overvåkning på byggeplassen frem til hele fyllingen er dekket, vegdekke er lagt på toppen og sideskråninger tildekket (hvis relevant). Dette kan gjøres med vakthold ved fyllingen, inngjerding eller annen sikring av byggeplassen og selve fyllingen og ikke minst

forsiktighet ved bruk av skjære- og sveiseutstyr o.l. Når konstruksjonen er dekket elimineres brannfare.

I dag benyttes tyngdetetthet for EPS fyllinger iht. vegnormal N200 Vegbygging. Disse kravene er nærmest identisk med de opprinnelige kravene og ser ut til å være i samsvar med krav som benyttes i andre land.

- EPS med trykkfasthet $\sigma_5 = 100$ kPa ved 5 % deformasjon har i tørr tilstand en tyngdetetthet på $\gamma = 0,2$ kN/m³.
- For å ta hensyn til fuktopptak benyttes det for stabilitets- og setningsberegninger en tyngdetetthet på $\gamma = 1,0$ kN/m³ for blokker plassert under grunnvannstanden og en tyngdetetthet på $\gamma = 0,5$ kN/m³ for blokker som ligger drenert og over høyeste grunnvannstand.
- Det må kontrolleres at sikkerhet mot oppdrift er tilstrekkelig. EPS-blokkene skal vanligvis ligge drenert og over normal vannstand. Dimensjonerende tyngdetetthet av EPS ved beregning av sikkerhet mot oppdrift er $\gamma = 0,2$ kN/m³.
- Det benyttes en sikkerhet mot oppdrift på 1,3 basert på den høyeste sannsynlige vannstand innenfor en 100-års periode
- EPS Fyllingen må sikres mot flom både i anleggsfasen og på permanent basis.



Figur 5. Oppdrift i EPS blokker. RV 159 . Foto: Arvid Sagbakken, Statens vegvesen

Dimensjonering av overbygning over EPS fyllinger er spesifisert i N 200 og i det nye dimensjoneringsverktøyet Vegdim (vegdim.atlas.vegvesen.no). For å redusere den permanente lasten på EPS-blokkene og undergrunnen mest mulig, ble det anbefalt å støpe en lastfordelingsplate av betong over EPS-blokkene og dette er fortsatt vanlig praksis og anbefalt.

Det har vært utført forsøk ved Bundesanstalt Für Strassenwesen (BAST) i Tyskland i samarbeid med Universitetet i Delft, Nederland hvor bærelag over EPS med og uten betongplate har vært undersøkt i fullskalaforsøk. Resultatene viser klart at en vegoverbygning med betongplate vil ha en lenger levetid. Bæreevneporsøk utført på EPS-fyllinger i Norge med og uten betongplate over EPS-blokkene indikerer at bærelagstykkelsen må økes med 300 – 400 mm med vanlige bærelagsmasser uten betongplate for å oppnå samme spennings- og deformasjons-karakteristikk som fyllinger med betongplate.

2.4 Utnyttelse av materialet

For vanlig EPS-material med trykkfasthet $\sigma_5 = 100$ kPa skal dimensjonerende last vanligvis ikke overstige $q_d = 30$ kPa. For spesielle konstruksjoner, og konstruksjoner der permanent last (vekt av overbygning + permanent nyttelast) på EPS-laget er større enn $q = 30$ kPa, brukes stivere EPS materiale slik at den permanente lasten ikke overskrider 30 % av materialets trykkfasthet ved 5 % deformasjon.

2.5 Egendeformasjon

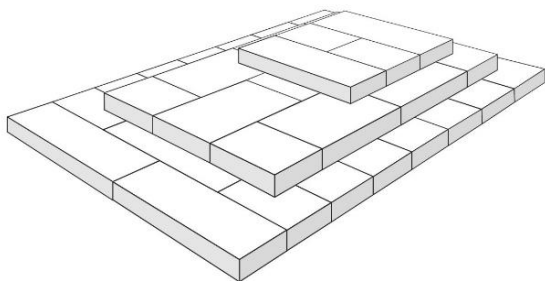
Det er viktig å ta hensyn til at EPS fyllingen kan få en egendeformasjon på 0,5 – 1 % når lasten fra en normal overbygning blir påført. Av hensyn til krypdeformasjon skal normalt ikke permanent last (f.eks. egenvekt fra vegoverbygning og brufundamenter etc.) på EPS-laget overstige 30 % av materialets trykkfasthet ved 5 % deformasjon. Deformasjon og krypeffekter av EPS fyllinger er beskrevet i Statens vegvesen rapport nr.1018. Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren.

2.6 Jevnhet og toleranse

For å oppnå en solid, homogen struktur må variasjoner i blokkdimensjoner holdes innenfor visse grenser. For å hindre uønskede åpninger mellom blokkene er det satt opp regler for akseptable avvik i blokkenes geometriske dimensjoner og overflatejevnhet samt for å unngå gjennomgående vertikale fuger mellom blokkene, oppnå jevne fyllinger og sikre en viss overdekning eller annen form for mekanisk beskyttelse på vertikale vegger. Blokkene skal være rettviklede og ha plane overflater, med sidekant større eller lik 0,5 m og en lengde på minimum 2,4 m.

N200 Vegbygging angir maksimalt tillatt avvik for dimensjon (høyde, bredde, lengde) er ± 1 %. Maksimalt tillatt avvik for jevnhet er 5 mm målt med 3 m rettholt.

Tykkelsesforskjell mellom naboblokker (blokker i samme lag) skal ikke være mer enn 5 mm



Figur 6. Leggeanvisning for EPS blokker.

Illustrasjon: N200 Statens vegvesen

ett lag brukes, bør EPS-blokkene i forskjellige lag plasseres med den lengderetningen vinkelrett på hverandre, og tilstøtende blokker i samme lag bør skyves omtrent halvparten av en blokk lengde i forhold til tilstøtende blokker for å oppnå en sammenhengende, stabil struktur og unngå kontinuerlige vertikale fuger som går gjennom strukturen.

Før den første laget med blokker legges, bør terrenget komprimeres til en jevn og horisontal overflate. Blokker skal ikke plasseres på frossen undergrunn. Under oppbygging av EPS-fylling er det viktig med kontroll for å sikre at jevnheten til blokkene er tilfredsstillende i hvert lag og viktigheten av denne faktoren øker med høyden på fyllingen. Når mer enn

Lagene i en EPS-fylling bør være parallelle med overbygningen. Hvis vegbanen er designet for å ha en toveis tverrfall, bør EPS-fyllingen likevel plasseres i parallelle lag.



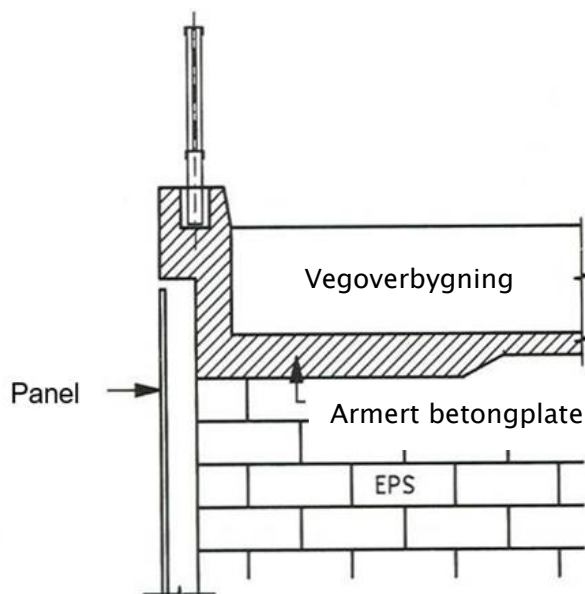
Figur 7. Tvilsom kvalitet av EPS fylling. Foto R. Aabøe Statens vegvesen

Det anbefales at betongplate eller membran over EPS-fylling har en minimum helning på 1,5% for å sikre god vannavrenning.

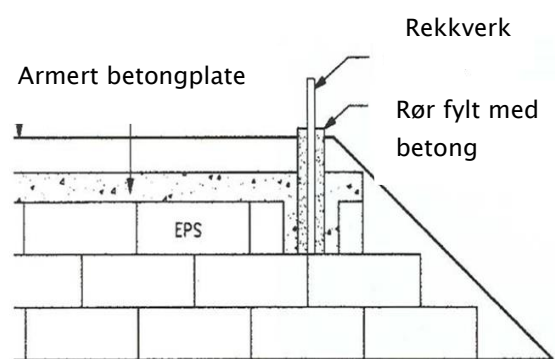
Det er ikke ønskelig å bruke løse EPS-biter, EPS-plater tynnere enn 10 cm eller lignende som avretting i toppen av fyllingen som vist i Figur 7.

Alle typer godkjente fyllmateriale kan brukes på sideskråningen. Tykkelsen bør være større 0,25 m med en beskyttende membran over blokkene. Dersom vegkonstruksjonen legges i kurve kan det oppstå små vertikale spalter mellom blokkene. I slike tilfeller anbefales det å fylle spaltene med annet lett eller granulært materiale.

2.7 Rekkverk



Figur 8. Eksempel på installasjon av rekkverk i en vertikal EPS fylling. (V221)



Figur 9. Eksempel på forankring av rekkverk i en EPS fylling. (V221).

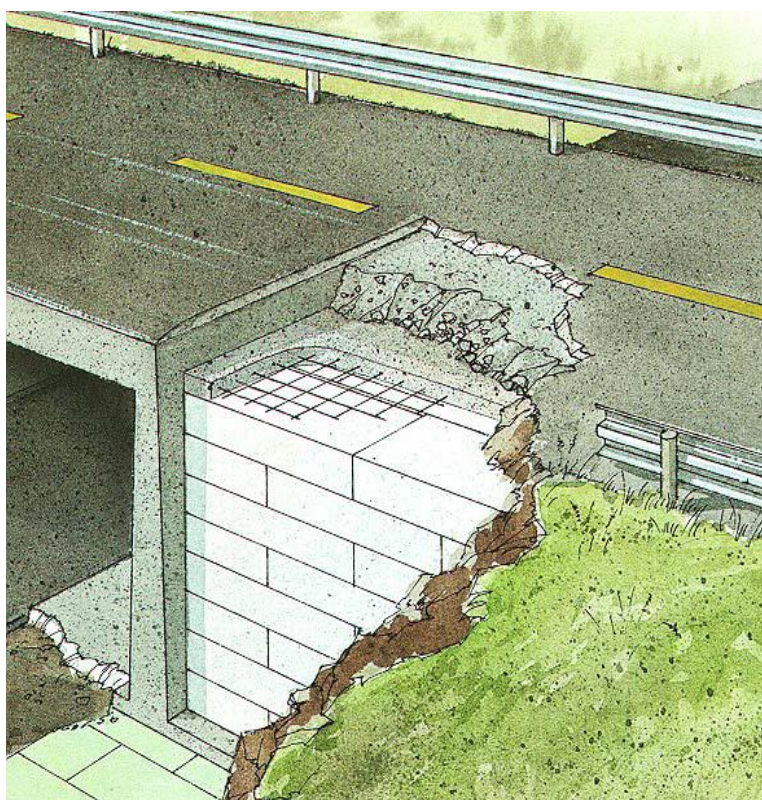
For vegfyllinger over en viss høyde kreves vanligvis rekkverk både i vanlige vegfyllinger og når vertikale konstruksjoner bygges. For EPS-fyllinger kan rekkverkene forankres i betongplaten som vist i Figur 8 og Figur 9. Hvis EPS-fyllinger brukes mot brufundamenter, kan overgangsplater installeres i overgangssonen mellom EPS-fyllingen og brufundamenter eller kulverter for å redusere setningsforskjellene.

Overgangsplaten (lastfordelingsplaten) som brukes er typisk 200 mm tykk og 3 – 6 m lang (i vegens retning), støpt med en høyfast betongblanding.

2.8 Håndtering av horisontalkrefter

På strekninger hvor det forventes spesielle horisontalbelastninger må opptak av krefter vurderes. Friksjonskoeffisienten mellom EPS blokker, og EPS blokker og avretningslag er i N200 satt til $\mu = 0,7$.

I skrånende terreng må det legges tilstrekkelig drenering for å unngå oppbygging av horisontaltrykk mot EPS-fyllingen. Det bør legges stikkledninger for å forhindre oppdemming av vann. I høye fyllinger må det tas hensyn til vindkrefter både i



Figur 10. Redusert horisontaltrykk. Illustrasjon: Statens vegvesen
anleggsfasen og permanent. For å hindre eventuelle horisontalkrefter mot en fylling skal nødvendige mottiltak vurderes og spesiell forankring av konstruksjonen benyttes ved skrånende terreng og høye fyllinger.

Ved å legge EPS inn mot brulandkar eller støttemurer som i Figur 10 kan horisontalbelastningen mot veggen reduseres betydelig. Fra forsøk i Japan og Norge er det vist at forholdet mellom horisontal- og vertikalspenning i EPS-materialet er lik $\sigma_h / \sigma_v = 0,1$ forutsatt at tilstøtende jordfylling er avsluttet med stabil skråningshelning.

I diplomoppgaven til Atle Hjorteset, NTH 1987. [Brage – Statens vegvesen: Spenningsfordeling i EPS som konstruksjonsmateriale](#), er det dokumentert erfaringer som tilsier at dersom EPS-blokkene legges med et lite gap mot landkaret eller støttemuren vil EPS fyllingen forbli i ro og ingen horisontalkrefter overføres til veggen. Selv om dette kan gi fordeler i mange situasjoner må en også huske på at det da ikke er noe passivt mothold bak muren. For bruer betyr dette at bremse- og temperaturkrefter må opptas ved en eller flere av de andre opplagerpunktene for brua

På grunn av materialets lave vekt kan vind skape problemer, men i Norge har ikke det vært et problem så lenge gjeldende fyllings og tildekkingskrav følges. Det er likevel viktig å være klar over og dimensjonere for at en usikret EPS fylling på et vindutsatt sted lett vil kunne bli tatt av sterk vind, spesielt i anleggsfasen, og det finnes flere eksempler på dette.

Horisontalkrefter kan påvirke EPS fyllingers interne stabilitet negativt. Derfor dimensjoneres slike fyllinger for potensielle horisontalkrefter fra:

- jordtrykk, vanntrykk (hydrostatisk glidning),
- vindkrefter
- seismiske forhold
- bremsekrefter.

I konferanseartikkelen “Geofoam blocks in Civil Engineering applications” fra [5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018 | SpringerLink](#) beskrives metoder som brukes (kanskje spesielt i Japan) for å øke skjærspenningene mellom blokker og lag av EPS.

Metoder som nevnes er:

- Installasjon av halvblokker periodisk i fyllingen.
- Lim
- EPS blokker med geometrisk utforming som legoklosser eller lignende
- Joint Metal Binders (JMB)

Metodene for å binde EPS fyllingen sammen er først og fremst beregnet for områder med høyere seismisk aktivitet enn vi har i Norge.

For norske forhold vil fortsatt bruken av tømmerforbindere være den beste løsningen for å håndtere disse problemene kombinert med forankring dersom det er et dimensjoneringsmessig behov for å ta opp horisontalkrefter.

2.9 Beskyttelse av EPS fyllinger

To uhell, henholdsvis på E ved Vestby og på Knatten bru (over Rv 159) på Lørenskog, forårsaket av branner har oppstått i Norge og begge var forårsaket av sveisearbeid i byggefasen utført på brulandkar med tilliggende EPS-fyllinger. I det første tilfellet ble betonglandkaret skadet på grunn av varmeutviklingen med betong som skallet av fra armeringsjernene.



Figur 11. Antenning av EPS fyllinger. E6 Vestby 1995. Foto: Statens vegvesen

Siden brannen var forårsaket av sveiseaktiviteter på brulandkaret, måtte entreprenøren som var ansvarlig for sveisearbeidet, både reparere landkaret og erstatte EPS-blokkene for egen regning. En tilsvarende hendelse oppsto i 1995 og igjen måtte entreprenøren som utførte sveisearbeidene dekke reparasjonsutgiftene. Et tredje branntilfelle er rapportert fra Japan. I tillegg har det vært registrert tilfeller hvor mellomlagring av EPS har blitt antent på grunn av lek med fyrstikker i lagringsfasen

EPS vil ødelegges ved kontakt med bensin og enkelte andre kjemikalier. Ved bruk av betongplate i overbygningen, eller membran mellom EPS-fylling og overbygningen, kan slik kontakt forebygges. Hvis betongplaten utelates, kan en membran benyttes til å beskytte blokkene og dette vises til i N200 krav 1.11.4.2–12 der veiledningsteksten anbefaler at det legges membran mellom EPS-fylling og betongplate for lettere å kunne gjenbruke EPS-blokkene.

Ved bruk av knuste materialer i overbygningen må membranen beskyttes med et filterlag av sand og grus eller annet egnet materiale. Membranen skal min være 0,3 mm tykk og være motstandsdyktig mot bensin og andre petroleumsprodukter.

Mulighetene for bensin – eller oljesøl på en EPS-fylling er liten, men selv om en tankbil skulle velte på et slikt sted og innholdet i tanken skulle renne ut på vegen, vil ovennevnte tiltak være tilstrekkelig til å beskytte EPS-blokkene. I alle fall vil det ta noe tid før løsningsmidlene trenger gjennom jordlaget på skråningene, noe som gir mulighet til korrigerende tiltak. Men selv om løsningsmidler skulle nå frem og skade de ytre blokkene, vil reparasjonstiltak være enkle å foreta. Bortsett fra ett tilfelle i Japan (Figur 12) finnes ingen eksempler på skader på EPS-blokker i vegfyllinger på grunn av løsemidler.



Figur 12. Skade fra bensinlekkasje i Japan. Foto: EDO

2.10 Klima og miljøhensyn

Ofte vil det være mulig å prosjektere flere løsninger med ulike typer av lette fyllmasser eller andre alternativer som for eksempel kalksement stabilisering eller vertikaldren mfl. Miljøhensyn, både med tanke på forurensing og utslipp, vektas i dag betydelig sterkere enn kostnader og vil være avgjørende for løsningsvalget. Levetid og mulig gjenbruk er viktige faktorer som inngår i vurderingen.

Det finnes flere frivillige sertifiseringsordninger som dokumenterer produktenes egenskaper i tråd med norske og europeiske forskrifter og standarder for blant annet for tekniske egenskaper, livsløpsanalyse, miljøbelastning og ressursbruk.

Statens vegvesen har i samarbeid med Bane NOR og Nye Veier etablert en veileder www.infraklima.no for å redusere tolkningsrommet som ligger i standarder og verktøy for klimagassberegninger, slik at beregningsresultater blir mer sammenlignbare og usikkerheten ved beregningene reduseres.

Flere av isolasjonsmaterialene som ble brukt i tidlig fase inneholdt KFK holdige drivgasser før disse ble forbudt internasjonalt fordi de på et tidspunkt truet ozonlaget. Ekspandert polystyren har alltid blitt produsert uten KFK holdige drivgasser selv om dette materialet ofte ble framstilt som en av utslippssynderne.

EPS er et brennbart materiale, og for å forhindre brannulykker ble det lagt til et flammehemmende middel (HBCDD), et 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 bromerte flammehemmere i EPS materialet som blant annet ble brukt i vegbygging. Først og fremst ble det påpekt at mangelen på kunnskap om omsetning og spredning samt langsiktige effekter på helse og miljø. Bromerte flammehemmere er blant annet akutt giftig for vannlevende organismer, men mindre akutt for pattedyr. Størst bekymring var det knyttet til hormonforstyrrende effekter og skader på nervesystemet.

Statens vegvesen var tidlig ute og innførte forbud mot bruk av bromerte flammehemmere i eget regelverk. Praksisen er også forlatt i Europa av miljømessige årsaker, da HBCDD-materialet har en tendens til å akkumulere i jorden. EPS produkter skal i dag være CE-merket for å kunne selges lovlig i EØS-området. Det vil si at de skal være spesifisert i henhold til en harmonisert europeisk standard eller etter en spesiell godkjenning (ETA) dersom en slik standard ikke finnes (jmfør NS-EN 13055, NS-EN 13163, NS-EN 1532 og NS-EN 14933). På denne måten garanterer produsenten ovenfor kontrollerende myndighet at produktet oppfyller gitte tekniske minstekrav til blant annet sikkerhet og miljøpåvirkning.



*Figur 13. E6 Hjelmungen. Miljøundersøkelse.
Foto: Tor Helge Johansen, Statens vegvesen*

På E6 Hjelmungen og E6 Løkkeberget bru ble det tatt prøver og funnet tilstrekkelig data under vegfyllingene med EPS til å gjøre en risikovurdering og beregne veiledende verdier for jord og overflatevann. Resultatene og risikovurdering for disse 2 konstruksjonene er beskrevet i Statens vegvesen rapport 1018 Materialoppførsel og i [Environmental Risk Assessments of Flame-Retardant Found in EPS Bridge Embankments \(Paper, EPS 2011, Norway\)](#)

2.11 Kvalitetskontroll

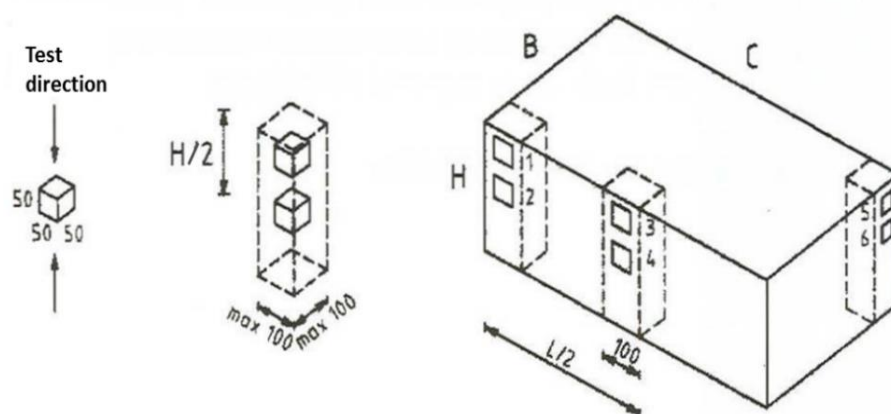
Kvalitetskontroll skal være i henhold til NS-EN 14933 og er gitt i Statens vegvesen sitt regelverk. Det har vist seg at det for å sikre en stabil og sikker kvalitet på EPS blokkene, er nødvendig med en egen stikkprøvekontroll av byggherren.

Valg av blokker for kvalitetskontroll bør gjøres tilfeldig, men jevnt fordelt blant et sett med blokker. Frekvensen for testing av materialstyrke kan være som vist i Tabell 1 og Figur 14.

Blokkemål og jevnhet kan kontrolleres på én av hver 25 blokk. Krav til jevnhet og nivå på underlaget under EPS kan kontrolleres i et tverrsnitt for hver 10 meter.

Tabell 1. Kontroll av fyllinger

Størrelse på fylling	Antall blokker som skal kontrolleres Number of blocks to
< 500 m ³	Minimum 3 blokker
500 - 1000 m ³	Minimum 5 blokker
> 1000 m ³	Minimum 5 blokker pr. 1000 m ³



Figur 14. Uttak av prøver til kvalitetskontroll. Illustrasjon: Statens vegvesen

For en spesifisert EPS-fasthetskvalitet på $\sigma_5=100$ kPa, skal gjennomsnittsverdien for testede blokker ikke være lavere enn $\sigma_5=100$ kPa. Gjennomsnittsverdien for individuelle blokker (minimum 6 prøver) skal ikke være lavere enn $\sigma_5=90$ kPa, og ingen enkelt testresultat skal være lavere enn $\sigma_5=80$ kPa.

2.12 Gjenbruk

Den første EPS-fyllingen i Norge ved Flom bru fløt opp på grunn av oppdrift i 1987, som beskrevet i kapittel 4.1, oppstod det samtidig en hendelse i sentrum av Oslo, hvor en spuntvegg for en dyp utgraving ved en avkjøring var i ferd med å kollapse. Her var det stor trafikk som krevde en rask midlertidig utbedring av avkjøringen og leverandørene av EPS kunne ikke levere nye blokker raskt nok. I stedet ble blokkene som ble fjernet fra Flom bru gjenbrukt for å utbedre avkjøringen i sentrum av Oslo.

I 2006 ble to fyllinger på E6 i den sørlige delen av Norge, (kap. 9) delvis fjernet på grunn av utvidelse og endringer på E6. Blokkene holdt fortsatt den forutsatte kvaliteten og det ble besluttet å gjenbruke mer enn 5000 m³ EPS blokker av disse blokkene som vist i Figur 15.

Carousel Shopping Mall i Syracuse, NY, ble bygget i 1989 med 28 000 m³ EPS for å redusere setningene for et platefundament. Etter 4 år skulle kjøpesenteret utvides, og EPS blokkene langs 100 m av fundamentveggen ble fjernet. Alle blokker, unntatt de som ble skadet under transport, var i god stand og ble gjenbrukt. De gjenbrukte EPS-blokkene har fungert slik de skal mer enn 20 år etterpå.

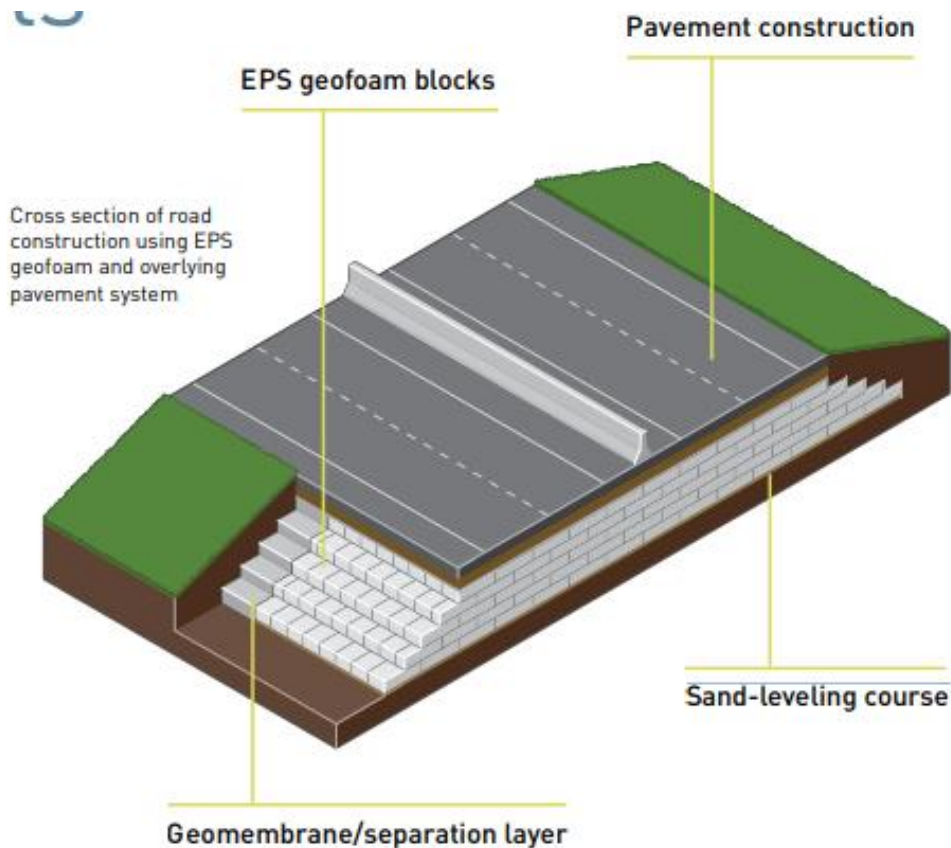


Figur 15. a) Lager av EPS blokker fra Løkkeberg bru, b) Gjenbruk av EPS blokker fra Løkkeberg bru (Foto: Statens vegvesen)

Mesteparten av EPS som produseres globalt, brukes til emballasje og isolasjon, og har skapt et miljøproblem på grunn av manglende system for innsamling og avfallshåndtering. For å motvirke effekten har det blitt etablert innsamlingssystemer både i Norge og internasjonalt og produsentene bruker nå resirkulert EPS (ca 20 %) i produksjonen av nye blokker. Det er mer informasjon om håndtering, gjenbruk og resirkulering i Statens vegvesen rapport nr.1018. Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren.

3 Vegbygging på områder med dårlige grunnforhold.

Et økt behov for nye veger på siste halvdel av 1900 tallet krevde i mange tilfeller bygging over områder med dårlige grunnforhold som ikke hadde tilstrekkelig bæreevne. Innovative materialer og byggeteknikker ble etablert for å håndtere utfordringen med å bygge på dårlig grunn, forbedre eksisterende infrastruktur samtidig som prosjekt og tidsplaner hele tiden var under press.



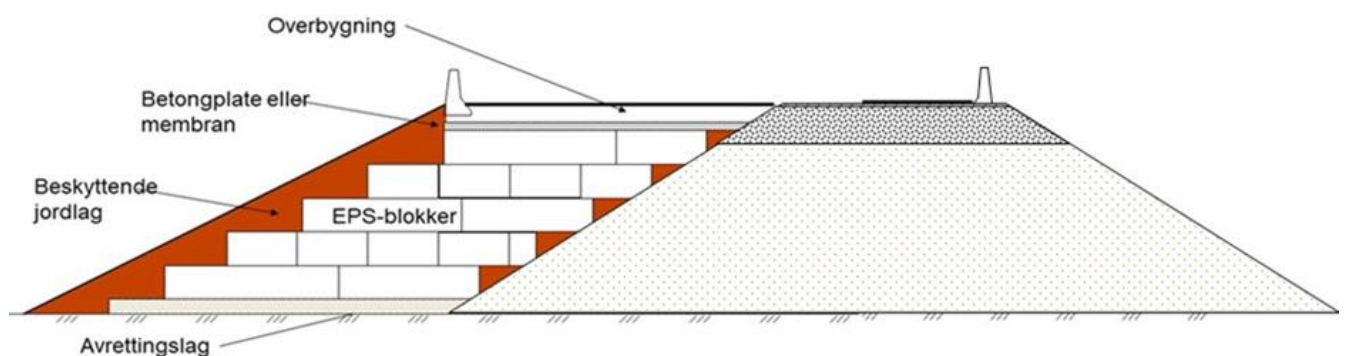
Figur 16. Typisk tverrprofil av en veg bygd på dårlig grunn med EPS som lett masse. Figur fra: EPS Geofoam Applications & Technical Data.pdf

EPS var et av materialene/metodene som gjennom innovativ utvikling og forskning i denne perioden ble etablert for å kunne forhindre uakseptabel belastning på underliggende masser og tilstøtende konstruksjoner. Den høye trykkfastheten til EPS gjorde metoden i stand til å møte stivere linjeføring (med påfølgende høye fyllinger) samt økte trafikklaste forbundet med nye og moderne veger.

Bygging med EPS er også tidsbesparende fordi materialet er lett å håndtere uten behov for spesialutstyr. EPS blokker er et produkt som leveres på byggeplassen med et sertifikat etter å ha gjennomgått en kvalitetskontrolltesting. Ofte har det likevel vist seg å være nødvendig med stedlig tredjepartskontroll for å sikre riktig kvalitet på blokkene.

Hovedbruken av EPS-blokker har så langt vært som et lett fyllmateriale, hovedsakelig til veg og jernbaneforhold, men også til flyplasser og andre byggeprosjekter. Blokkene er brukt for å redusere belastningen på områder med dårlig bæreevne/ grunnforhold både av stabilitets- og setningsårsaker samt som en måte å redusere spenninger både horisontalt og vertikalt.

Normalt vil en slik konstruksjon fra bunn til topp bestå av et komprimert lag med friksjonsmaterialer på en bløt leire/dårlig grunn. Deretter plasseres blokkene i forband uten gjennomgående fuger til gitt høyde med en armerte betongplate oppå. Det skal legges membran (folie) mellom EPS-fylling og overbygning dersom betongplate sløyfes, og mellom EPS-fylling og dekkmasser på sideskråningen. Dette gjør det lettere å kunne gjenbruke EPS-blokkene, deretter et bærelag og et asfaltlag over. Ellers vises det til detaljerte krav i Statens vegvesen sine Vegnormaler N200 [N200:2024](#)



Figur 17. Typisk profil av EPS fylling ved utvidelse av veg. Figur fra: *EPS Geofom Applications & Technical Data.pdf*

4 Kompenserte løsninger

Utover 80 og 90 tallet ble bruken av EPS som lette fyllmasser akseptert og utnyttet i enda større grad på hovedveger. Først og fremst ifm. kompensert fundamentering for å redusere belastningen på områder med dårlige grunnforhold. På den måten redusere setninger i veg og konstruksjoner som ikke er fundamentert til fast grunn, samtidig som stabiliteten lokalt forbedres. Eksisterende masser graves ut for å redusere den netto påførte belastningen fra den nye konstruksjonen. Dersom utgravd masse tilsvarer vekten eller belastningen som påføres av den nye konstruksjonen er fundamentet "fullt kompensert".

4.1 Rv 159 Flom bruer (Den første EPS fyllingen i 1972)

Rv 159 ved Flom bruer var det første prosjektet med EPS. Konstruksjonen og hvordan den ble utformet og bygd i 1972 er beskrevet både i del 1 av denne rapporten samt i [The First Geoblock Road Embankment – 1972 \(Paper, EPS 2011, Norway\)](#).

Oslo området ble rammet av store flommer i 1987. Dette resulterte i at den første EPS fyllingen bygget i 1972 fløt opp inklusiv en tilstøtende veg som ble bygd i 1974. Endring i avrenningsbetingelser resulterte her i større vannmengder enn 100 års flommen tilsa under prosjekteringen i 1972, da betydelig mer asfalterte flater knyttet til boligbygging og industriutbygging ga raskere avrenning i området. Under flommen i 1987 var vannstanden 85 cm over angitt nivå for 100 års flommen. Konstruksjonen ble i 1987/88 bygd opp igjen på samme måte, men med en tykkere overbygning som sikrer vegen og en ny oppdatert 200 årsflom.



Figur 18. Rv 159 flom bruer. Verdens første EPS fylling under bygging og senere oversvømmet i en flomsituasjon. Foto: Geir Refsdal og Arvid Sagbakken, Statens vegvesen

4.2 Rv 154 Solbotmoan (1975)



Figur 19 Solbotmoan ble bygd i 1975. (Esso Magazine, 1980)

Rv 154 Solbotmoan (ca 30 km syd for Oslo) krysser vegen her et myrområde. Det var et område med store setninger og vegen ble oversvømt flere ganger i året. Store setninger og krakeleringer i asfaltdekket indikerte at strukturen kunne kollapse. Under torvlaget var det bløt leire med 6–10 m til berg. [plastic-foam-in-road-meddelelse-61](#).

Prosjekteringsarbeidet viste at en fylling av ordinære masser ville føre til store setninger med fare for grunnbrudd. Løsningen som ble valgt etter at vegen var besluttet å bli rehabilitert i 1975, var å redusere belastningen med en kompensert løsning med EPS for å redusere setningene. Eksisterende fylling ble gravd vekk ned til grunnvannsstanden. Det ble brukt bark som avrettingslag før det ble lagt blokker av EPS. EPS-fyllingshøyden varierte fra 0,5 til 2,7 m. Over EPS-blokkene ble det støpt en betongplate med 38 cm overbygning oppå.

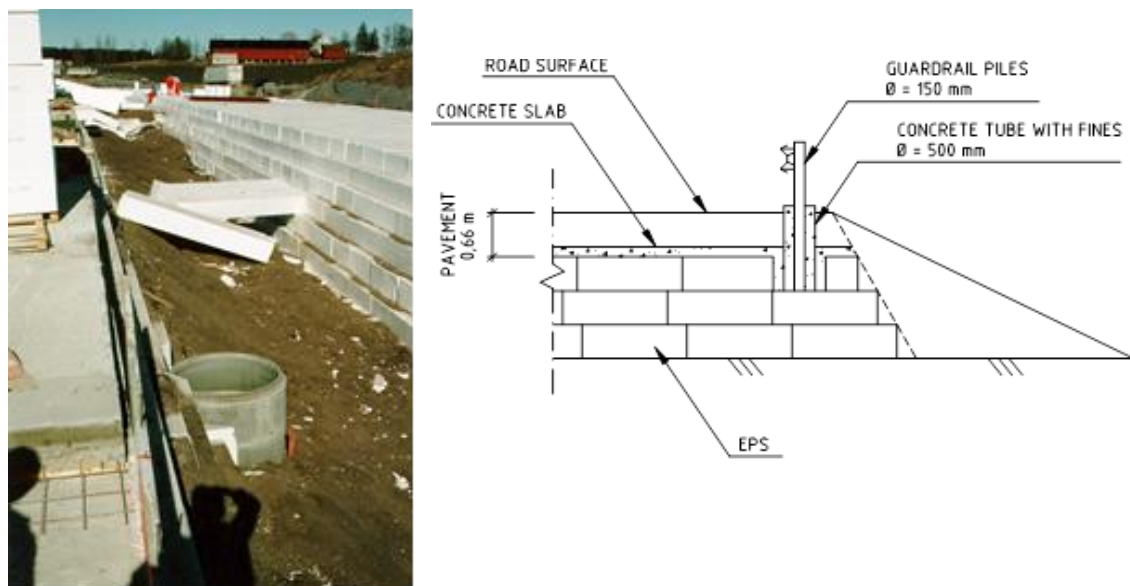
Strekningen har vært en del av et undersøkelsesprogram beskrevet i Statens vegvesen rapport nr.1018 Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren. hvor status har blitt dokumentert i 1979,1984 og 2011.

4.3 E6 ved Vestby (1995)

Under omlegging av E6 ved Vestby i 1995 til 4 feltsveg ble det oppdaget svært dårlige grunnforhold på deler av strekningen. Over en forsenkning i området er det bygget 2 myrbruer fundamentert på lukkede stålrørspeler.

Alle 4 tilløpsfyllingene til disse myrbruene er utført med EPS blokker med fyllingshøyde på inntil 4 meter, Figur 20. I forhold til forprosjektet ble bruene noe forkortet og erstattet med lette masser for å redusere kostnadene. Det er brukt 15000 m³ EPS. For å optimalisere kostnadene er det også brukt lettklinker under

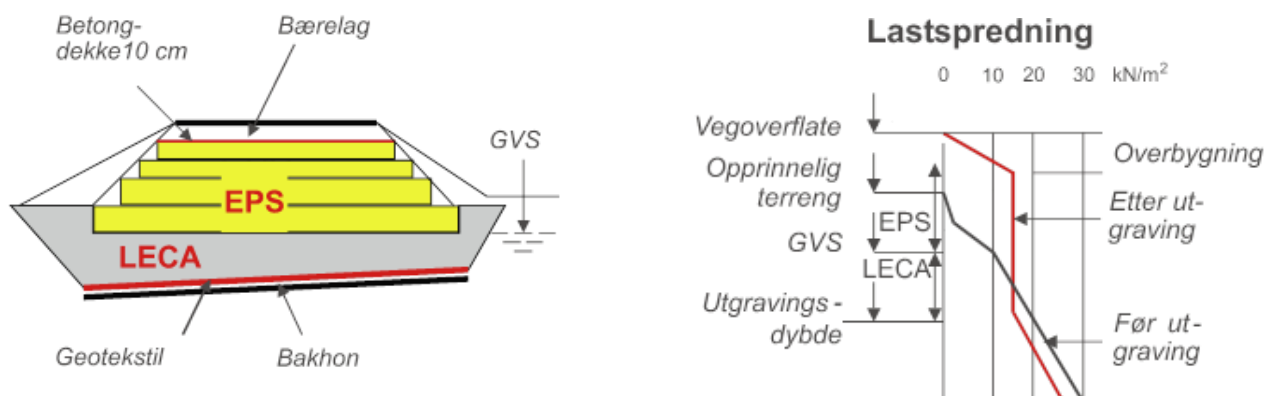
fyllingen samt i alle skråninger hvor den har erstattet en vertikal forblendet EPS strenge og stabiliteten tilstrekkelig.



Figur 20. E6 Vestby. EPS fylling kombinert med lettklinker. Profil som viser rekkverksinnfesting. Foto Statens vegvesen

4.4 E18 Lysakerkrysset (1988)

På Lysakerkrysset ble forbindelsen fra E18 til Fornebu utbedret på slutten av 1980 tallet. To av rampene lå i et tjernområde på en meget bløt, sensitiv normalkonsolidert leire med mer enn 20 meter til fjell og en høy grunnvannstand.



Figur 21. E18 Lysakerkrysset fundamentert på EPS. Illustrasjon Statens vegvesen

Grunnforholdene var maksimalt ugunstige for fundamentering av rampene, med store utfordringer knyttet til både bæreevne- og setningsproblematikk. For rampene som ligger i skarpe kurver inn mot undergangen som er fundamentert på peler til berg, er setninger og især skjevsetninger meget uheldige.

Grunnvannstanden i området ble sikret og det ble valgt å fundamenter rampene på leira. En kompensert fundamentering med bakhon, lettklinker og EPS som vist i typisk tverrprofil av rampene på Figur 21. Figuren viser at lasten på undergrunnen vil være mindre etter ombygging. Over EPS-laget ble det støpt en 10 cm tykk, lett armert betongplate.

I samme området er det brukt store mengder EPS til andre konstruksjoner som avlastning, reduksjon av horisontaltrykk, vertikale vegger, omlegging av veger, parkeringsplasser mm.

4.5 E16 ved Vøyenenga (2019)

Det er en del av utbyggingen av strekningen E16 Sandvika–Skaret som åpnet i 2019 med svært dårlig og setningsgivende grunnforhold. Eksisterende veg hadde i området sunket med opp til 1,5 meter fra den ble bygget på 80-tallet



Figur 22. E16 ved Vøyenenga. Foto: Mari Gisvold Garathun, Teknisk ukeblad. 2016

I vegkrysset ved Løxa, viste grunnforholdene seg å være spesielt krevende. Fylling av EPS ble vurdert som en attraktiv måte å bygge opp vegen på, som kombinert med forbelastning ga minimalt med setninger for ferdig veg.

Dette er en svært gunstig måte å utnytte lette masser på. Etter at man først har hatt en sprengsteinsfylling liggende i mange år med store setninger og deretter velger å skifte ut fyllingen med blokker av ekspandert polystyren for å avlaste terrenget.

Tilsvarende vil en forbelastning i noen måneder også være svært effektivt i forhold til reduserte setninger.

Perioden med setninger er for det meste unnagjort under anleggsperioden med en slik framgangsmåte, noe som betyr minimale setninger på den nye 4 feltsvegen.

4.6 E18 Farrisbrua med EPS i landkar og fylling (2018).

[Geofoam Eps Used in Bridge Abutment, E18 Farris Bridge | SpringerLink](#)



Figur 23. E18 Farris brua 2018. Bruk av EPS i landkar og fyllinger.

I 2018 ble den 570 m lange Farris brua bygget bestående hovedsakelig av en betongviadukt og en 120 meter lang skråkabelbru i stål, med to 70 meter høye betongtårn. Under begge fundamentene var det bløt leire til stor dybde og svært lav bæreevne.

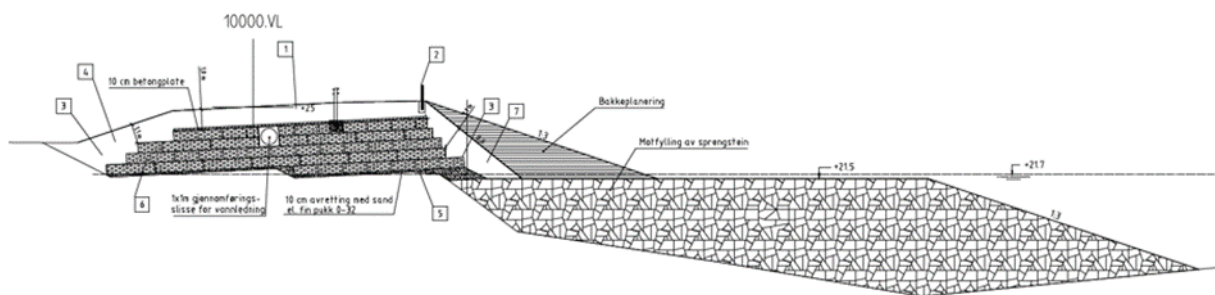
Flere alternativer ble vurdert og løsningen med EPS som fylling både inne i fundamentet og som setningsreduserende tiltak i vegfyllingene som ledet opp til fundamentene ble vurdert og valgt til å være den mest kostnadseffektive løsningen. I tillegg var EPS med på å redusere horisontaltrykk mot vingemurer.

Løsningen med EPS blokker gjorde det også enklere å oppnå en god estetisk løsning. Totalt ble det brukt 11 000 m³ med forskjellige kvaliteter $\sigma_5 = 100$ kPa til $\sigma_5 = 300$ kPa avhengig av belastningen på EPS materialet. Figuren over viser forskjellige kvaliteter av EPS brukt inne i landkaret (Rød sone 300 kPa og grå sone 180 kPa).

4.7 Fv 420 ved Sangereid (2016)

Under etablering av GS-veg langs tidligere E18 (nå Fv. 420) ved Sangereid gikk det et skred i 2009 i forbindelse med utlegging av steinmasser for utvidelse av vegen. Omtrentlig 60 meter av vegen raste ut i tjernet. Det ble raskt etablert en midlertidig vei forbi skredgroppen som ble liggende i 7 år.

Prosjektet ønsket først at det skulle bygges bru over skredområdet, men etter en kostnadsvurdering ble det besluttet at en lett fylling med EPS var et rimeligere alternativ. For å kunne etablere fyllingen måtte man ha god kontroll på vannivået i tjernet. Det ble derfor bygget en terskel på et gitt kotenivå og EPS-fyllingen måtte også tåle en vannstand tilsvarende en 200-årsflom. Selve EPS fyllingen hadde et volum på 2000 m³. I tillegg måtte det også etableres en motfylling ute i tjernet på cirka 6000 m³ for å sikre totalstabiliteten.



Figur 25. Tverrprofil av EPS fylling ved FV 420 Sangereid

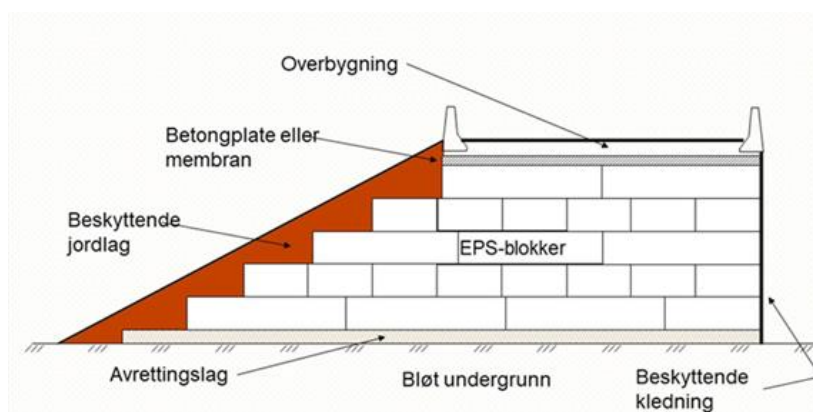


Figur 24. EPS fylling på FV 420 Sangereid Foto: Veslemøy Gardå, Statens vegvesen

5 Vertikale løsninger

5.1 Arealbesparende løsninger

I forbindelse med utvidelse av eksisterende veger har løsninger som benytter EPS (ekspandert polystyren) vist seg å være effektive for å forbedre stabilitetsforholdene, forhindre differensialsetninger mellom gammel og ny vei, samt for å spare arealer i forbindelse med vegbygging. Med økende høyder på EPS-fyllinger ble disse ofte avsluttet med skråning på inntil 2:1. Etter hvert kom det imidlertid ønske om brattere sideavslutninger. Spesielt ved utvidelse eller bygging av veger i bratte sidehellinger har EPS-blokker med vertikal sideavslutning vist seg å være en god løsning. I slike skråninger med høye EPS-fyllinger er det viktig å vurdere behovet for riktig forankring, slik at den kan motstå horisontale krefter fra jordtrykk, og fra kjøretøy som potensielt kan treffe sidebarrierer. Hvis vann får samlet seg på den ene siden av konstruksjonen kan det medføre betydelige horisontalkrefter.



Figur 26. Tverrprofil av en typisk EPS konstruksjon med vertikal avslutning. Figur: Statens vegvesen

Mange EPS-fyllinger har blitt bygget med vertikale vegger på den ene eller begge sider. I slike tilfeller bør en form for beskyttelse plasseres utenpå den vertikale vegg. Metoden er plassbesparende, enkel å bygge i krevende terreng og sikrer stabilitet samtidig som den reduserer setninger der det er nødvendig. Den har i områder med dårlige grunnforhold ført til betydelige kostnadsbesparelser sammenlignet med konvensjonelle støttemurkonstruksjoner. Vertikale EPS-konstruksjoner kan også være et konkurransedyktig alternativ til tradisjonelle vertikale støttemurer på steder med gode grunnforhold.

Det finnes i hovedsak to bruksområder for vertikale EPS-fyllinger:

- EPS-konstruksjoner med en enkel kledning i fronten for mekanisk beskyttelse. Dette forutsetter at konstruksjonen ikke utsettes for jordtrykk i bakkant.
- EPS som fylling inntil støttemurer eller landkarvegger for å redusere jordtrykket



1. Rv 181 Sundet bru. Armert jord og sprøytebetong. Bilde Statens vegvesen.
2. Barbudalen Arendal. Trekledning. Bilde Statens vegvesen.
3. [Geo Foam| Concrete Construction Magazine](#). Fasade av betongelementer.



Figur 27 Eksempler på vertikale avslutninger med EPS og forskjellige løsninger på fronten.

Ved vertikale avslutninger kan fyllingen for eksempel kles med

- Korrugerte plater av stål eller aluminium
- Trepanel, forutsetter at konstruksjonen ikke ligger i brannfarlig område som skog eller annet lett antennelig materiale
- Prefabrikkerte betongplater
- Sprøytebetong

5.2 Rv 5 Stedjeberget

I november 1979 raste en tørrmur ut i skrånende terreng på Rv 5 ved Stedjeberget i Sogn og Fjordane. Rasmassene lå med en 45-graders skråning ned mot sjøen, flere titalls meter lavere enn vegen. Det var ingen omkjøringsmuligheter, og for å

opprettholde trafikken ble det satt opp en midlertidig beredskapsbru over rasstedet.



Figur 28. Støping av betongplate mellom EPS lag. Foto Statens vegvesen

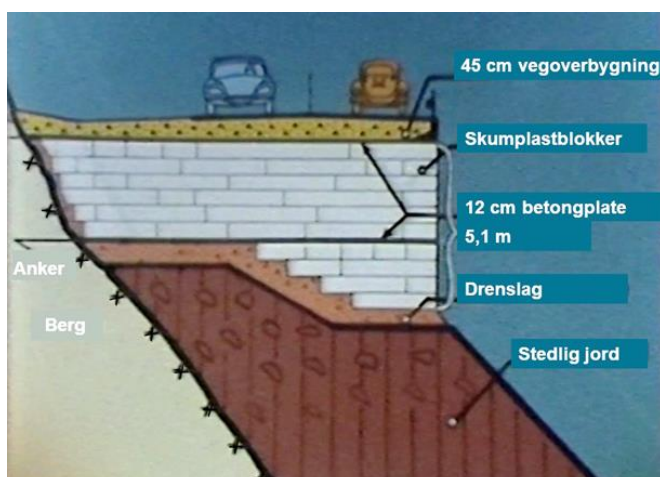
Som en permanent løsning ble en tradisjonell bru vurdert, men dette innebar lang anleggsperiode med periodiske vegstengninger.

Løsningen som ble valgt, var å bruke EPS-blokker med en 5 meter vertikal avslutning, som vist i Figur 29. Fyllingen ble bygget våren 1980 og var på det tidspunktet verdens

høyeste EPS fylling.

Mellom og over EPS-blokkene ble det støpt to betongplater, som ble forankret med stålstag i berget. Rommet mellom blokkene og berget ble fylt med drenerende sementstabilisert lettklinker for å unngå oppbygging av vanntrykk. EPS-blokkene ble beskyttet mekanisk med stålpaneler mot sjøen.

Løsningen ble anslått å koste omtrent halvparten av en tradisjonell bru, og trafikken kunne opprettholdes på vegen gjennom hele anleggsperioden.



Figur 29. Eksempler på vertikale fyllinger med EPS. (Rv 5 Stedjeberg, Norge (Foto og illustrasjon: Statens vegvesen

Konstruksjonen er fortsatt intakt i 2025 selv om vegen er omlagt på stedet med skredsikringstunnel og fungerer i dag som sykkelveg.

5.3 Rv 315 Nyveien

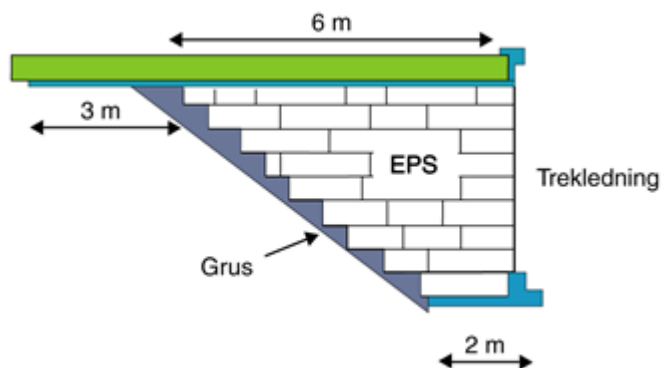


*Figur 30. Rv 315 Nyveien ved Holmestrand.
Foto: Roald Aabøe*

På 80 tallet ble løsningen med vertikal avslutning fulgt av en rekke vertikale fyllinger med enkle kledninger. Eksempel på dette er Rv 315 Nyveien, som vist i Figur 30. Her ble impregnerert trepanel brukt på EPS fyllingen (utvidelse for å få plass til en gang og sykkelveg) som ligger i en bratt skråning med urmasser. Områdene i bunn av skråningen var båndlagt av en kirkegård. Det ble vurdert to alternativer og den vertikale EPS fyllingen var den beste både

teknisk og økonomisk og besparelsene i forhold til konvensjonell støttemur var rundt 50 %.

5.4 E6 ved Nesset



*Figur 31. E6 (Daværende) ved Nesset. Enkle EPS utforminger med vertikale vegger. Foto::
Roald Aabøe, Statens vegvesen*

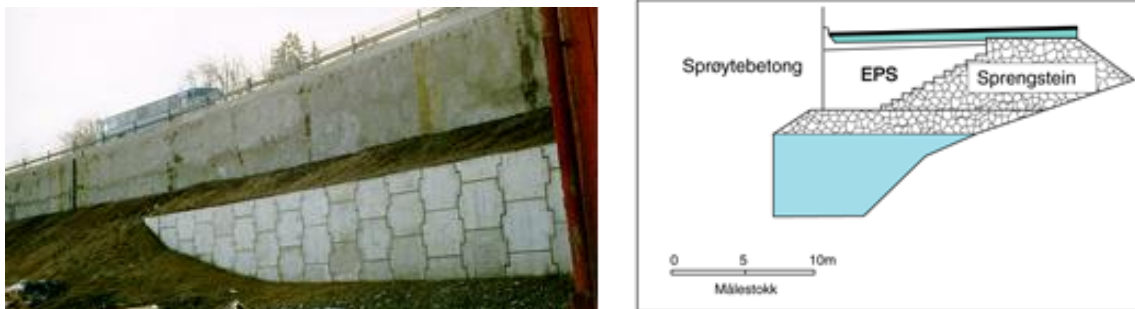
Det ble bygget flere relativt enkle utformede vertikale støttemurer med EPS som byggingen av en g/s-veg på et relativt trangt parti av daværende E6 ved Nesset i Akershus. Stedvis var det vanskelig å gå inn i fjellskjæring på innsiden av vegen (bratt og delvis bebygd) da dette ville medføre store utslag av fylling ut i sjøen i område med anstrengt stabilitet. I tillegg lå det fritidshus tett inn til vegen på

sjøsiden som krevde vertikale løsninger. Det ble brukt både vertikale EPS løsninger med front av impregnert trepanel, som vist i Figur 31, samt flere prefabrikkerte støttemurer av betong med en kombinasjon av lettklinker og EPS som bakfyllmasse. Delvis var muren også forankret inn i fjell for å ta opp horisontalkrefter fra kollisjon i en av faseplanene hvor E6 var lagt helt ut mot sjøen.

5.5 Rv 181 Sundet bru

I forbindelse med bygging av RV 181 Sundet bru over Vorma er det bygget tilknytningsveger langs foten av en åsrygg. Det var prosjektert fyllinger på opptil 13 meter. Det var nødvendig med vertikale avslutninger fordi områdene foran fyllingen var båndlagt av NSB (Bane NOR) til framtidig jernbaneformål.

For å begrense det nødvendige areal for vegfyllingen ble det bestemt å bruke 2 vertikale murer av armert jord i 2 nivåer noe inntrukket i forhold til hverandre. Stabiliteten i utgravingstilstanden for en slik løsning viste seg ikke å være tilstrekkelig.

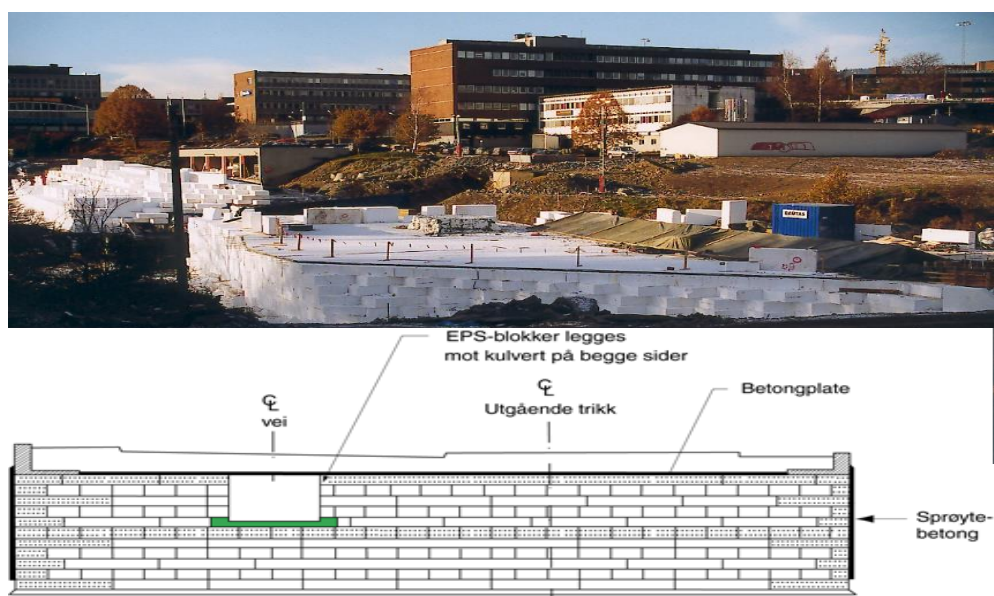


Figur 32. Rv 181 Sundet bru. Vertikal EPS fylling med sprøytebetong kombinert med en «armert jord» vegg. Foto: Statens vegvesen

En mer begrenset armert jord konstruksjon med mindre bredde i foten ga for lav sikkerhet. Det ble derfor valgt å bygge en armert jord løsning i nedre del av fyllingen med en 5 meter høy vertikal EPS vegg, noe inntrukket, over. Dette førte ikke til noen vesentlig kostnadsøkning. Med en slik løsning sto man også friere med hensyn til utforming av de to vertikale veggene. I mellomrommet mellom veggene ble det brukt en steinfylling. Dette begrenset høyden og omfanget av den nedre veggen. Fronten av EPS fyllingen har blitt utformet med sprøytebetong som var det rimeligste alternativet. Det er brukt 4 cm med stålfiberarmert sprøytebetong og 2 cm med vanlig sprøytebetong.

5.6 Trikkelinje i Gaustadbekkdalen/Oslo

I forbindelse med bygging av ny trikkelinje og parallell veg ved kryssing av Gaustadbekkdalen i Oslo var det opprinnelig prosjektert en bru pga. vanskelige grunnforhold. Et alternativ med fylling av EPS ble rimeligere og valgt av byggherren. Det er totalt brukt ca 13000 m³ med EPS og fyllingshøyder på inntil ca. 6 m.



Figur 33. Ny trikkelinje ved kryssing av Gaustadbekkdalen, Oslo. Foto; Roald Aabøe Statens

Konstruksjonen var forberedt for å kunne føre kryssende veg gjennom fyllingen ved at det ble spuntet og pelet for ny veg. Området er nå i stor endring og del av forskningsparken I Gaustad. Løsningene er fortsatt intakt og fungerer i sammenheng med mange nye konstruksjoner, men det er i 2025 oppfylt på begge sider. Det er benyttet resirkulert materiale (betong og tegl) i overbygningen over EPS fyllingen. De vertikale frontene til EPS fyllingen er dekket av sprøytebetong med resirkulert



sand fra knust betong og tegl i en tykkelse på 15 cm. Sprøytebetong er ikke den mest estetisk tiltalende kledningen, men i dette tilfellet er kledningen 25 år senere innbygget, dekket og kombinert med andre konstruksjoner (bygg).

Figur 34. Ny trikkelinje ved kryssing av Gaustadbekkdalen, Oslo. Kledning med sprøytebetong. Foto: Statens vegvesen

5.7 Arendal Øst–Vest. Barbudalen

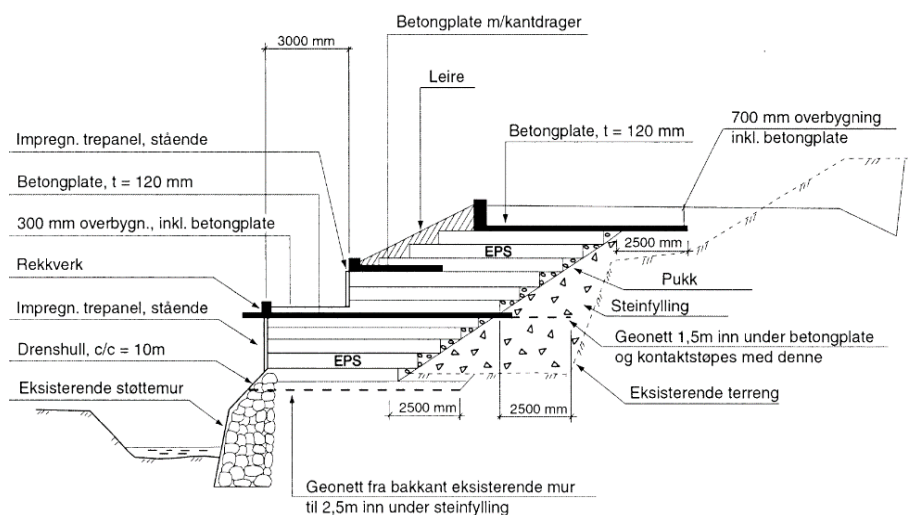
I forbindelse med bygging av Øst–Vest forbindelsen i Arendal måtte lokalvegen heves med inntil 6,5 m over eksisterende veg for å komme i høyde med tunnelåpningen og bru over jernbanen som krysser lokalvegen i plan.

På yttersiden av lokalvegen er det bygd en G/S-veg. Lokalvegen, bygd på 1960 tallet har en støttemur som er delvis bygget som betongmur og delvis som tørrmur.



Figur 35. Arendal Øst– vest. EPS fylling. Foto: Statens vegvesen

Grunnundersøkelser og nye bæreevneberegninger viste at muren ikke kunne belastes ytterligere.



Figur 36. Arendal Øst– vest. Tverrprofil med detaljer. Illustrasjon: Statens vegvesen

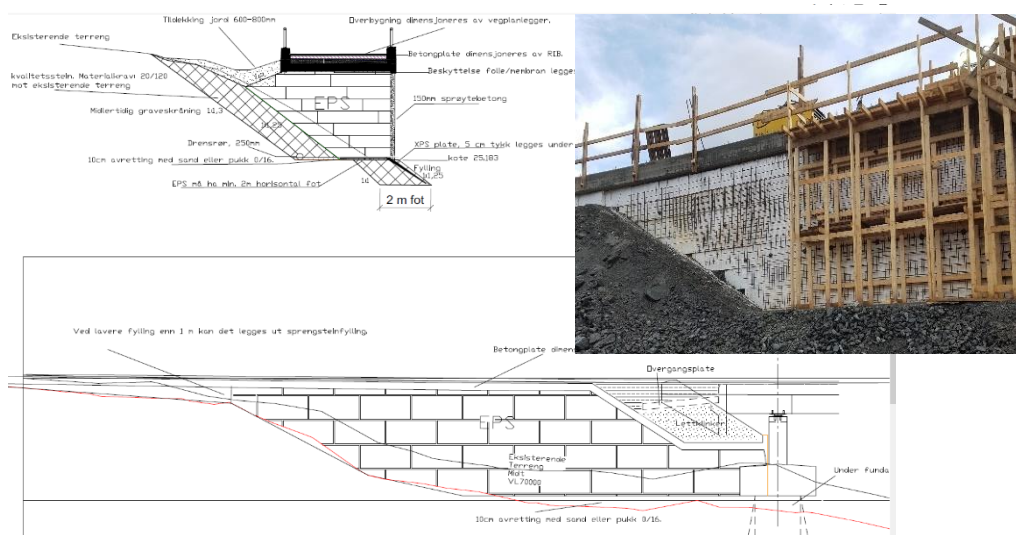
Den eksisterende vegfyllingen ble avlastet tilsvarende ny overbygning og hevingen av vegen ble utført med inntil 7 m med EPS. Langs lokalvegen ble det etablert en G/S-veg i EPS fyllingen. Ytterveggene varierer fra vertikale avslutninger til 1:2 skråninger.

Det er støpt 2 betongplater (C45 med armeringsnett K503, RW500B) i EPS fyllingen, en i nivå med GS vegen på yttersiden av vegen og en på toppen av EPS fyllingen under lokalvegens overbygning. Blokkene ble plassert i en trinnvis regulert traubunn. I tilknytning til betongplatene er det lagt 2 geonett som er kontaktstøpt med betongplatene i 1,5 m lengde og videre 2 m inn i en sprengsteinfylling på innsiden av vegen for å øke muligheten til å ta eventuelle horisontalkrefter. Overbygningen er totalt 60 cm.

Fasadekledningen ble laget av brannhemmende impregnert trepanel, og er festet delvis til horisontale bjelkelag med 1 meters mellomrom og til kantdrageren. Bjelkelagene er festet til et varmforsinket T-jern som går 2 meter inn i fyllingen og monteres med vertikale vinkelbein i EPS fyllingen.

5.8 Fv 65 Vindøla Røv

På mindre prosjekter som den nye gang- og sykkelvegbrua over elva Vindøla ble det i 2023 bygd en EPS-fylling med 150 mm sprøytebetong og beskyttelsesplate. Dette er en mer eller mindre standardløsning i dag.



*Figur 37. Tverrprofil og lengdeprofil av fundament for Fv 60 Vindøla – Røv.
Foto: Emil Cederstrøm Norconsult og Tegninger fra Møre og Romsdal fylkes*

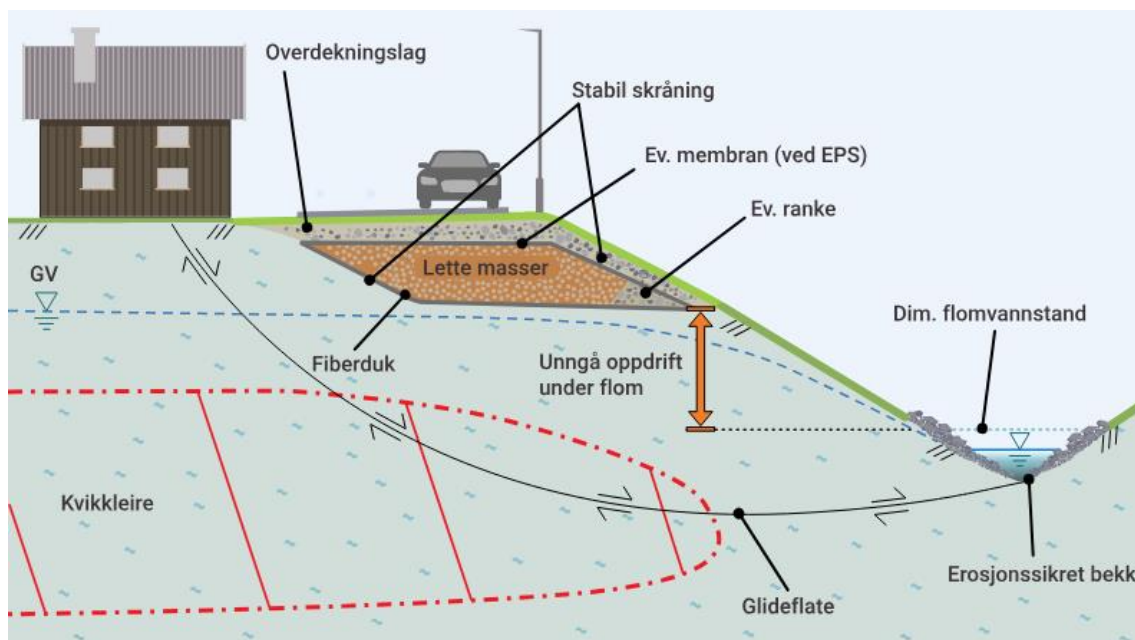
5.9 Skråningsstabilisering

Undergrunnen kan avlastes ved å masseutskifte jord med lette masser. Når tiltaket gjennomføres på toppen av skråninger, forbedres stabiliteten uten at det er nødvendig å endre terrenget. Masseutskiftingen kan også ha en lastkompenserende effekt. Veger og bygninger kan dermed etableres uten at stabilitetsforholdene forverres.

I noen tilfeller, spesielt i kvikkleireterreng, er det ikke mulig å utføre terrengavlastning uten at det får uakseptable konsekvenser for eksisterende eller planlagt bruk av et område. I slike situasjoner kan det være aktuelt å avlaste terrenget ved å erstatte de eksisterende løsmassene med lette fyllmasser (NVE–Sikringshåndboka).

Ved masseutskifting graves de eksisterende løsmassene bort fra toppen av skråningene, og erstattes med lette masser (som f.eks. EPS) for å avlaste terrenget. Deretter kan terrenget pålastes dersom det skal bygges noe. Spenningene i bakken forblir uendret eller reduseres. Stabilitetsforholdene lokalt forblir uforandret, eller forbedres når avlastningen er større enn belastningen. Tiltak innenfor kartlagte faresoner for kvikkleireskred skal som regel ikke medføre forverring av de eksisterende stabilitetsforholdene.

Dette er et vanlig krav for mindre utbyggingstiltak i kategori K0–K2 etter NVE veileder 1/2019 [Sikkerhet mot kvikkleireskred](#). Graveskråningene må være stabile i



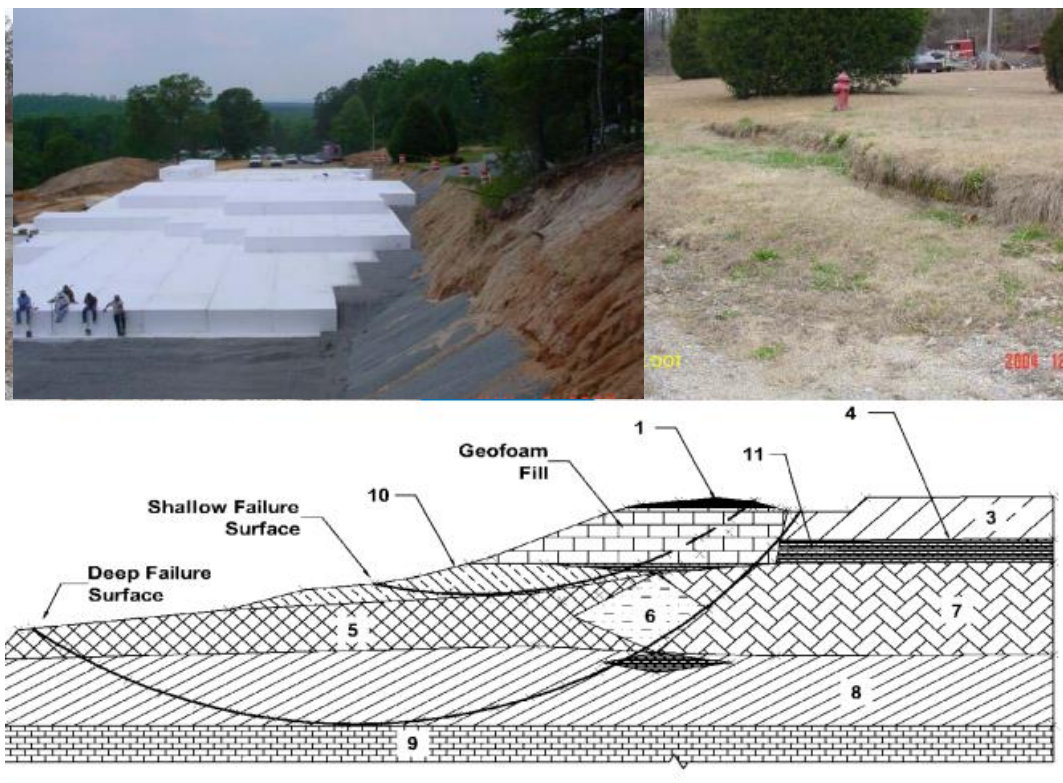
Figur 38. [Sikringshåndboka: Modul K0.305: Masseutskifting med lette masser i kvikkleireområder](#) (Prisippskisse fra NVE Sikringshåndboka)

anleggsfasen, og det må ikke oppstå et uakseptabelt jord- eller vanntrykk bak lettfyllingen i ettertid.

EPS blokker brukes også i stor utstrekning som skråningsstabilisering i Japan og USA. Dette er godt dokumentert i [Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects | The National Academies Press](#) der dokumentet kan lastes ned som gjest.

Designretningslinjene for bruk av EPS-blokker til skråningsstabilisering forutsetter at konstruksjonen skal inkludere et dreneringssystem for å hindre vannoppbygging i EPS fyllingen. Det presiseres her at det er spesielt nødvendig å sørge for riktig drenering for å hindre at hydrostatisk trykk bygger seg opp mot EPS konstruksjonen.

På Transportation Research Board (TRB Washington) i 2017 ble en utbedring av et skred på (US 60) presentert av Steven Bartlett fra University of Utah. Den gir en meget god og illustrert innføring i bruk av EPS i skråninger basert på de amerikanske retningslinjene. [Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects](#).



Figur 39. Bruk av EPS i en skredsituasjon. US 160, Durango, Colorado. Figur hentet fra [Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects.pptx](#).

Tyrkiske studier inklusive laboratoriemodeller har blitt utført for å forstå atferden til skråninger med vannsig og deres påvirkning på EPS konstruksjoner. Her vises det til EPS 2018 konferansen i Tyrkia; [5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018 | SpringerLink](#)

5.9.1 Vertikale og høye EPS fyllinger i Japan

I 1985 ble Japans første EPS-fylling (470m³) bygd i Sapporo. Bakgrunnen for denne fyllingen var erfaringer fra de første fyllingene i Norge. Etter dette ble EPS-metoden utvidet til flere bruksområder. Fyllingene ble større, og man så etter hvert fordelen med å bruke vertikale EPS-fyllinger uten støttemurer. Samtidig ble EPS også brukt i midlertidige fyllinger.

Japanerne så tidlig fordelen med at EPS var enkelt å legge. En utvidelse av en jernbane skapte oppsikt i 1990. Det ble brukt EPS til selve utvidelsen, og det hele varte i kun 5 timer. Ingen tog ble avlyst eller utsatt fordi jobben ble gjort rundt midnatt, mellom det siste og det første toget (Miki, 1996).

De høyeste EPS-fyllingene i verden som er bygd og er i drift, ligger i Japan.

Beskrivelsene under er hentet fra; [Studietur til Japan, 2010](#) v/ Slobodinski og Aunaas

5.9.2 Yamagata Expressway

I et skredområde på Yamagata Expressway som er en del av Yamagata Superhighway ble det på slutten av 90 tallet bygget en vegkonstruksjon som var opptil 16 m høy med vertikale vegger på begge sider. Det har tidligere gått skred i området, og grunnvannet står høyt.



Figur 40. Yamagata expressway (EPS 2018, Springer)

EPS ble valgt fremfor andre aktuelle løsninger på grunn av

- Kortere byggeperiode enn for de andre løsningene.
- Lav kostnad i forhold til andre løsninger.
- Liten påvirkning på områdets totalstabilitet.

Det ble støpt 10 cm tykke armerte betongplater for hver 3 m med EPS for å binde strukturen sammen og jevne ut eventuelle mindre nivåforskjeller. I tillegg ble det introdusert en form for glidende forbindelser for å tillate eventuelle differensielle vertikale bevegelser. Rammen til konstruksjonen bygges med H-profiler med senteravstanden 2 m og dekkes med et panel i komposittmateriale.

5.9.3 Otario Road (Japan)



Figur 41. Otario road (Japan). Verdens høyeste (trolig) EPS fylling (17 m). Foto: Kristian Aunaas Statens vegvesen, Illustrasjon: EDO

Utenfor Nagano på Otario Road på en strekning på 1,2 km ble det i perioden rundt 2010 bygd en 17 m høy EPS-konstruksjon som trolig er den høyeste bygde EPS fyllingen i verden med et omfang på 30 000 m³ EPS. Konstruksjonen utenfor Nagano er tilsvarende som i Yamagata. I ytterkant av fyllingen lages det en beskyttelsesvegg i komposittmateriale. Rammen til konstruksjonen bygges med H-profiler, og mellom beskyttelsesveggen og H-bjelkene lages det et mellomrom. Dette mellomrommet skal ta opp de horisontale kreftene som er den store utfordringen ved jordskjelv. Det støpes inn en betongplate med jevne mellomrom. Denne betongplaten er avstivende og gir en forbindelse mellom EPS-blokkene og H-bjelkene.

Årsaken til denne oppbyggingen er at konstruksjonen skal kunne deformere seg litt, uten at det skal gi store påhengskrefter til H-bjelkene. Denne fyllingen er bygget i kombinasjon med jordankere fordi grunnen i området har svært lav stabilitet.

Jordskjelv er en av de største utfordringene japanerne har ved dimensjonering av konstruksjoner. Etter de store jordskjelvene i Hokkaido og Kobe i 1995 viste EPS-konstruksjonene ingen store tegn til ødeleggelser (Miki, 1996). De japanske erfaringene tilsier at EPS-konstruksjoner som bygges riktig, skal ha god motstandsevne mot belastningene et jordskjelv medfører. Sannsynligheten for et nytt jordskjelv over 8 på Richters skala de neste 30 årene på denne strekningen, er beregnet til 14 % i dette området.

Hovedgrunnene til at EPS ble valgt fremfor andre aktuelle løsninger:

- Den totale byggetiden blir mye kortere enn for alternativene.
- Inngrepene for å sikre stabiliteten ble mindre som følge av at fyllingen var lett.
- EPS-alternativet reduserte byggekostnadene vesentlig.
- Designkriterium at konstruksjoner tåler belastninger fra jordskjelv.



Figur 42. Otario road (Japan). Bygging av 17 meter høy EPS fylling. Bruk av varmetråd til kutting av blokker. Foto K. Aunaas/ A.Slobodinski

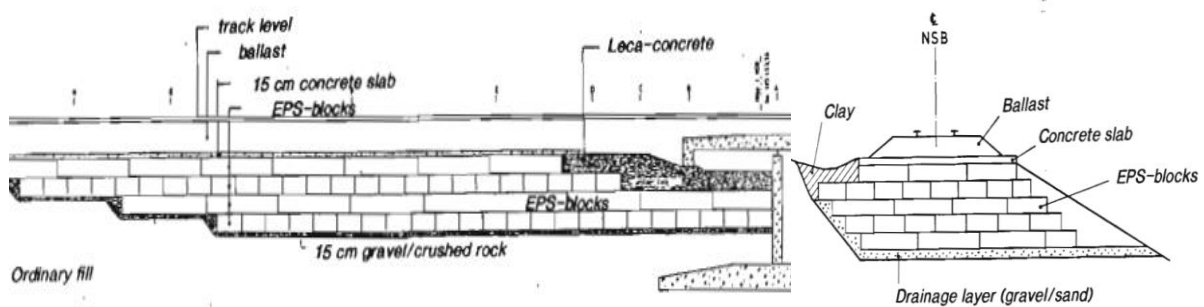
6 Bruk i jernbanefyllinger

Bane NOR har samlet sitt regelverk om bruk av EPS her: [TRV:01994 – Teknisk regelverk](#)

6.1 EPS fylling ved Bøle Jernbanebru

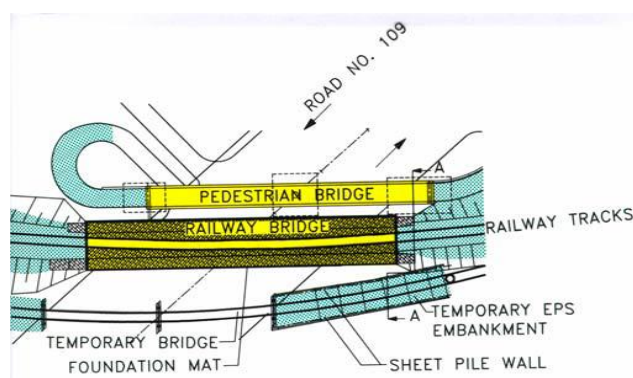
I Norge har EPS-blokker også vært anvendt i jernbanefyllinger. I det første prosjektet ved Bøle i Telemark ble det lagt en 2,5 m høy EPS-fylling bak en jernbanebru for å oppnå tilfredsstillende stabilitetsforhold. Det ble anvendt EPS-blokker med trykkfasthet $\sigma_5 = 150 \text{ kPa}$ ($\rho = 30 \text{ kg/m}^3$) med en 150 mm tykk betongplate over og ballast og sviller over denne igjen.

Etter at brua var bygget ble det utført belastningsforsøk for å måle resulterende deformasjoner fra passerende tog. For dette formål ble det benyttet et lokomotiv med

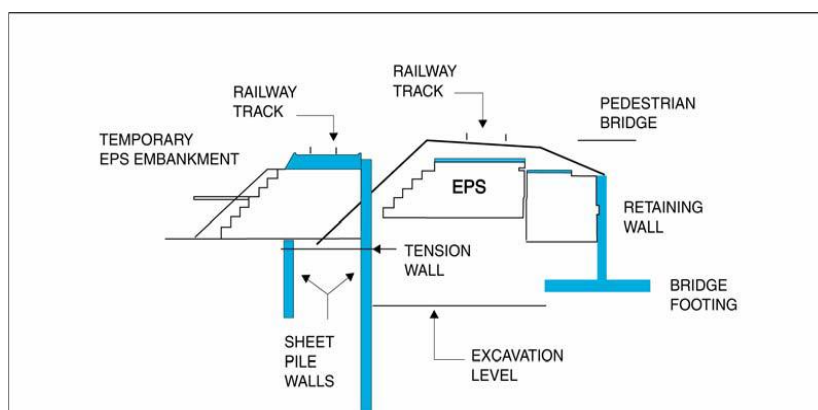


Figur 43. Bøle jernbanebru. Første EPS fylling for bane. Illustrasjon: Statens vegvesen
155 kN aksellast. Måleresultatene viser at deformasjonene målt på toppen av betongplaten var minimale og ubetydelige i forhold til deformasjoner målt på jernbanesvillene. Dette bekreftet at deformasjonene i hovedsak er relatert til ballastlaget og ikke til EPS-fyllingen.

6.2 Jernbaneundergang i Fredrikstad



Figur 45. St Croix omlegging av jernbane. Foto Statens vegvesen



Figur 44. St. Croix. Tverrprofil av midlertidig og ferdig omlagt jernbane. Illustrasjon: Roald Aabøe, Statens vegvesen

I forbindelse med etablering av en ny hovedtrafikkåre i Fredrikstad var det behov for å utvide en jernbaneundergang ved St. Croix for å oppnå både større bredde og fri høyde. For å kunne opprettholde jernbanetrafikken i byggeperioden ble jernbanesporet flyttet 10 m til siden for eksisterende bru. Grunnundersøkelser viste tykke lag av bløt, marin leire med berg i dybder fra 30 m til 60 m under terreng.

Fundamentering av undergangen på peler til berg ville derfor bli kostbart og komplisert på grunn av eksisterende rørlednings- og kabelnett. For å oppnå tilfredsstillende stabilitetsforhold i fyllingene bak brulandkarene ble EPS introdusert i tillegg til for den midlertidige jernbanebrua og tilliggende fyllinger. Med denne løsningen ble det også mulig å begrense utfyllingsområdet og dermed unngå konflikter mot eksisterende bygninger og byggingen av den nye jernbanebrua. Både for fyllingene inntil den midlertidige og permanente jernbanebrua ble det benyttet EPS-blokker med trykkfasthet $\sigma_5 = 200$ kPa, mens det i fyllingene inntil fotgjengerbrua ble brukt EPS med trykkfasthet $\sigma = 100$ kPa.

Oppå alle EPS-fyllingene ble det støpt en 100 mm tykk betongplate. For jernbanefyllingen ble det lagt et 600 mm tykt ballastlag av knust stein over betongplata, mens det for fyllingene inntil forgjengerbrua ble benyttet en vegoverbygning på 400 mm. Det totale volum EPS involvert var nær 3.700 m³. Prosjektet ble fullført i juli 1993 og EPS blokkene fra den midlertidige konstruksjonen ble gjenbrukt til andre formål etter at prosjektet var ferdig.

6.3 Høyhastighetsbane ved Manchester

O'Brien, A. S., (2001). Design and construction of the UK'S first polystyrene embankment for railway use. [A. S. O'Brien. Design and construction of the UK'S first polystyrene embankment for railway use \(syr.edu\).](#)

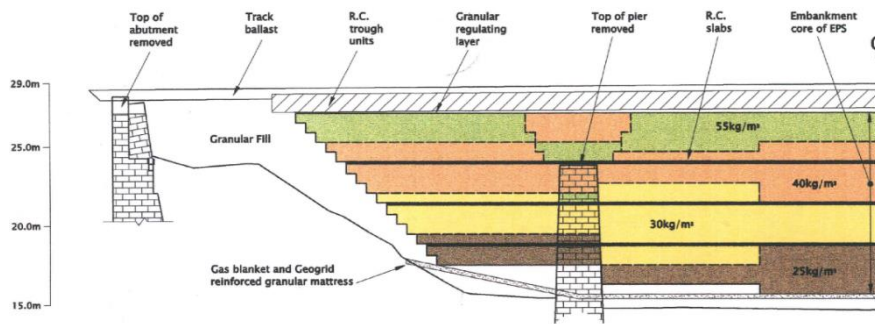
På midten av 90 tallet skulle en høyhastighets jernbane mellom Manchester og Liverpool erstatte stålbrua fra 1899. Samtidig var det viktig å holde togene i drift, med kun en kort pause i trafikken for å bytte ut brua. Brua gikk over et elveleie hvor ulike materialer var fylt opp gjennom år. Undergrunnen ble forhåndsbelastet med en 4,5 meter høy fylling i 1997. Etter 9 måneder ble forbelastningen fjernet og en EPS-fylling ble bygd til et nivå like under stålbrua, med brupilarene fortsatt intakte.

Deretter ble brua revet, høyden på EPS-fyllingen ble økt til et nivå noe under det nye spornivået før den ble dekket med et utjevnnende lag av granulat. Et prefabrikkert

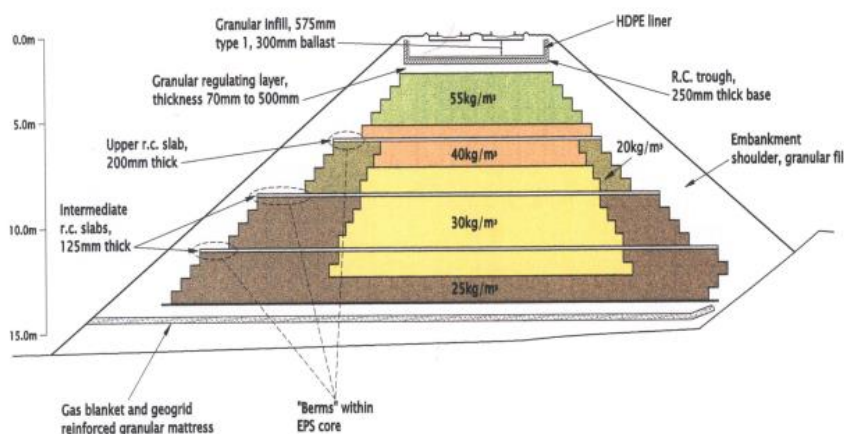
betongtrau ble deretter montert over EPS-fyllingen. En HDPE-folie, ballastmateriale og skinner ble lagt oppå betongtrauet. Hele jobben ble fullført innen 100 timer fra brua ble fjernet til togene var i drift igjen. Det totale volumet av EPS-blokker som ble brukt, var 13 000 m³ med ulike densiteter/trykkfasthet og var Storbritannias første EPS fylling til jernbaneformål.

Den permanente fyllingen består av totalt 13 000 m³ EPS i inntil 18 lag med blokker, med et forskjøvet mønster for å unngå kontinuerlige vertikale skjøter.

Fem kvaliteter av polystyren ble brukt, med densitet fra 20 kg/m³ til 55 kg/m³. I tillegg ble blokker som inneholdt et brannhemmende tilsetningsstoff inkludert i utformingen for å redusere brannrisikoen under byggingen. Konstruksjonen startet opp i juli 1998 med fjerning av forbelastning. To mellomliggende betongplater, 125 mm tykke, ble støpt etter først fem og deretter fire EPS-lag.



Figur 46. Lengdeprofil av høyhastighetsbane med EPS blokker ved Manchester. Illustrasjon: O'Brien Mott MacDonald



Figur 47. Tverrprofil av høyhastighetsbane ved Manchester med forskjellige kvaliteter av EPS. Illustrasjon: O'Brien Mott MacDonald

7 Prosjekter i USA

7.1 I 15 Salt Lake City

Et av de største EPS prosjektene i USA er breddeutvidelse av I-15 i Salt Lake City, Utah der det fra 1997 til 2001, ble lagt ut nærmere 100,000 m³ med EPS for å øke kapasiteten på vegene i forbindelse med arrangementet av 2002 vinterolympiaden.



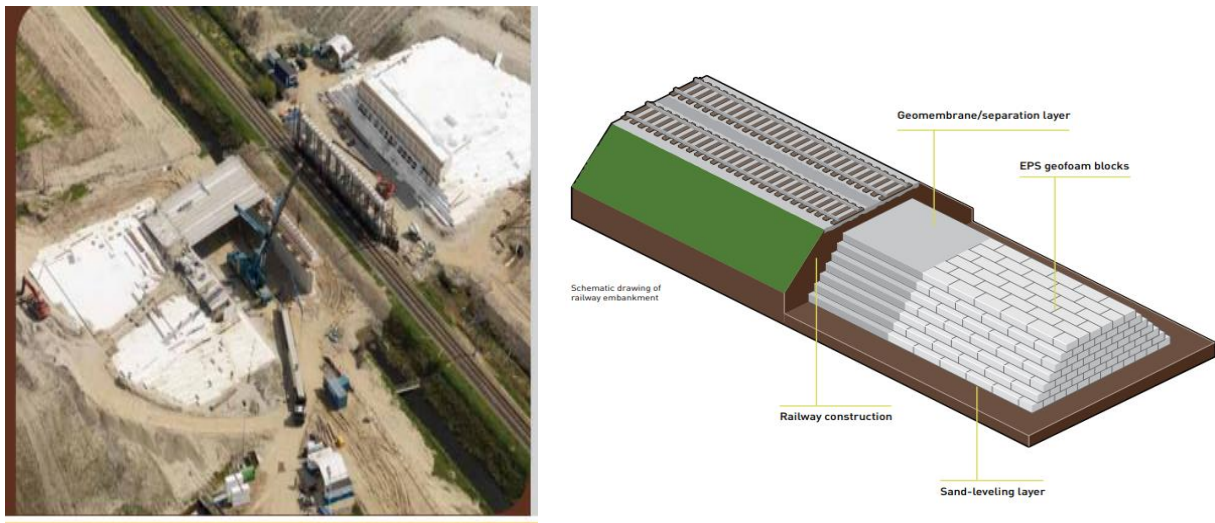
Figur 48. I 15 Motorvegprosjekt bygget i forbindelse med vinterolympiaden 2001. Foto: Utah Department of Transportation Research Division.

Prosjektet I-15 mottok “the 2002 American Society of Civil Engineers (ASCE) Outstanding Civil Engineering Achievement Award” for denne utførelsen. Grunnen til at dette prosjektet ble valgt var at prosjektet ble gjennomført på halve tiden av det som var planlagt med tradisjonell vegbygging samt at prosjektet endte \$32 millioner under budsjett. ASCE juryen begrunnet valget med innovativ bruk av materialer som EPS.

U.S. Federal Highway Administration anbefaler alle delstater å benytte alternative materialer når de planlegger prosjekter som involverer høye fyllinger. For nærmere dokumentasjon og evaluering av disse konstruksjonene vises det til; [Design and evaluation of expanded polystyrene geofom embankments for the I-15 reconstruction project, Salt Lake City](#) utarbeidet for Utah Department of Transportation Research Division.

7.2 Pendel og bybanetog i Salt Lake City med bruk av EPS.

EPS er også brukt til å bygge jernbanefyllinger på områder med svak bæreevne. Som fyllmateriale er EPS sterkt nok til å tåle jernbanelaster. EPS ble brukt i utvidelsen av Utah Transit Authority (UTA) TRAX bybanesystem og Frontrunner pendeltogsystem i og rundt Salt Lake City, Utah. Hovedårsaken til bruk av EPS var å unngå setninger i tilstøtende bruer og infrastruktur som kunne oppstå på grunn de lokalt dårlige grunnforholdene (avsetningene fra innsjøen).



Figur 49. Bruk av EPS på pendeltog. Foto og illustrasjon: EPS Geofoam Applications & Technical Data.pdf (utah.edu)

I et område nær I-15 motorvegen måtte de nye TRAX-tilførselsfyllingene være opptil 12 meter høye slik at de nye brustrukturene kunne krysse over en eksisterende bebyggelse. Geotekniske rapporter estimerte at setninger i de eksisterende jordmassene kunne bli så store som 1,5 meter dersom tradisjonelle fyllinger ble bygget. I tillegg ville konvensjonelle teknikker for å forsterke undergrunnen og redusere setninger ha økt prosjektets tidsbruk og kostnad. EPS blokker ble valgt som det mest passende fyllmaterialet basert på prosjektets tids- og kostnadsbegrensninger.

Dynamisk nedbøyning fra toglaster har over tid blitt overvåket og dokumentert av Ramesh Neupane, [Expanded polystyrene geofoam embankment for support of railways and bridges](#) (utah.edu) (2015). Statisk og dynamisk defleksjon ble målt ved hjelp av numeriske metoder, laboratorietester og akselerometre i feltet og resultatene

antyder at de dynamiske nedbøyningene er akseptable og sammenlignbare med de som måles på vegfyllinger.

7.3 US 36 mellom Denver og Boulder

[trnews347Geofoam.pdf](#) "Geofoam Colorado's Innovative Answer to an Emergency Highway Repair" (Research pays off).

I 2019 kollapset en MSE-mur og stengte den viktige vegforbindelsen US 36 (ÅDT 100 000), som forbinder Denver og Boulder. Muren, som hadde et volum på nærmere 100 000 m³, var bygget på en bløt marin leire med høyt vanninnhold og høy plastisitets-indeks, som mistet styrken og førte til en rotasjon og kollaps ved murfoten.



Figur 50. US 36 mellom Denver og Boulder.

Foto: Colorado.dot

Et samarbeid mellom Colorado DOT (vegadministrasjonen) og entreprenøren ble raskt etablert, og bare én uke senere ble det konstatert at fjerning av den kollapsede fyllingen, bygging av et fundament gjennom leira til berg og rekonstruksjon av MSE-veggen ville ta åtte til ni måneder, eller kanskje lengre, da arbeidet ville foregå

om vinteren.

De geotekniske designunderleverandørene foreslo bruk av EPS-blokker for å fremskynde prosjektet og få rekonstruksjonen av fyllingen ferdig før vinteren. Lastene ved bruk av EPS var godt innenfor bæreevnen til leira, og dette ville muliggjøre en rask rekonstruksjon uten behov for peler til berg. Entreprenøren hadde erfaring med materialet fra tidligere prosjekter og mente at de kunne akselerere leveringen med minst seks måneder.

Colorado DOT hadde derimot begrenset erfaring med EPS, mens både entreprenøren og konsulenten hadde brukt materialet på flere tidligere prosjekter.

Prosjektet valgte å bruke retningslinjene fra National Cooperative Highway Research Program: [NCHRP Report 529 – Guideline and Recommended Standard for Geofoam](#)

[*Applications in Highway Embankments*](#), samt [*Guidelines for Geofoam Applications in projects*](#). Begge dokumentene var utarbeidet under Prosjekt 24–11): [*NCHRP 65 – Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments \(TRB\)*](#). NCHRP Rapport 529 ga detaljerte designforslag, mens NCHRP Web Document 65 ga flere eksempler som beslutningsstøtte.

En av de største utfordringene var å skaffe det nødvendige volumet av EPS-blokker innenfor den korte byggeperioden. Dette ble løst gjennom et godt samarbeid med EPS-produsenten. Hele EPS-konstruksjonen, inkludert utvendig betongpanel og ferdig overbygning, ble fullført på én måned – mindre enn halve den tiden som ville vært forventet med en tradisjonell løsning.

Konklusjonen var at tilgangen til NCHRP-forskningen ga designretningslinjer, material- og konstruksjonsforslag, samt de tekniske egenskapene til EPS-materialet og en oppsummering som ga grunnlag for valg av løsning. Selv om løsningen var banebrytende og innovativ for prosjektteamet, var det allerede et utviklet regelverk for EPS på nasjonalt nivå (kap. 2) som var blitt brukt med suksess andre steder.



The project team followed best practices outlined in *NCHRP Report 529* and *NCHRP Web Document 65* to design a novel use of Geofoam expanded polystyrene blocks to repair a section of US 36 in Colorado.

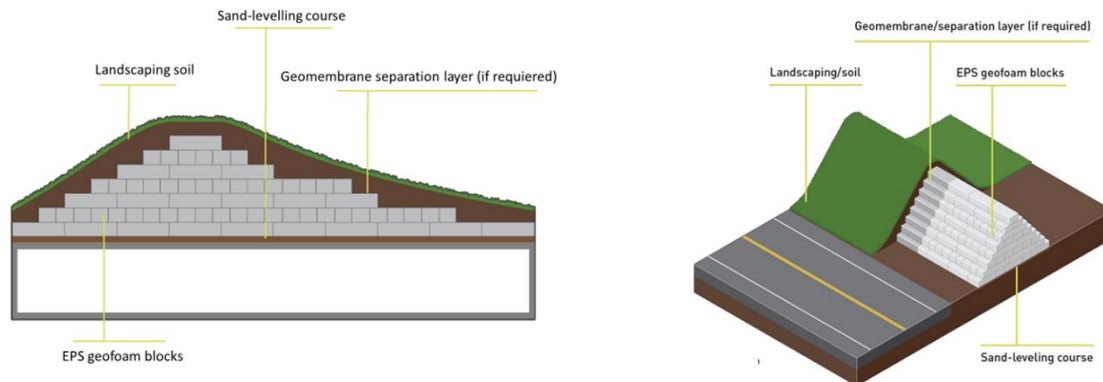
Figur 51. Beslutningsstøtte i det nasjonale regelverket (NCHRP)

7.4 Bruk av EPS på flyplasser

EPS har blitt brukt på flyplasser, både i rullebaner og taxibaner med en oppbygging hvor strukturen skal tåle hjulbelastningene fra fly. Et prosjekt med rehabilitering av rullebanen på New Orleans Airport inkluderte fjerning av eksisterende skadet dekke og bygging av nye taxibaner. EPS ble brukt under de nye dekkene for å minimalisere deformasjoner/setning og forhindre differensielle setninger ved krysset mellom nye og eksisterende dekker på området med dårlig grunn.

7.5 Redusert arealbruk

EPS-blokker kan også brukes som kompensert fundamentering for bygninger for å redusere belastningen på dårlig undergrunn og minimere setning av bygninger, samt løse bæreevneproblemer. Eksisterende masser blir erstattet med EPS for å redusere den nettobelastningen som påføres jorden av det nye bygget. Hvis mengden utgravd masse som graves ut tilsvarer den totale belastningen fra den nye strukturen, oppnås et fullt kompensert fundament, dvs. ingen økt belastning påføres undergrunnen av konstruksjonen.



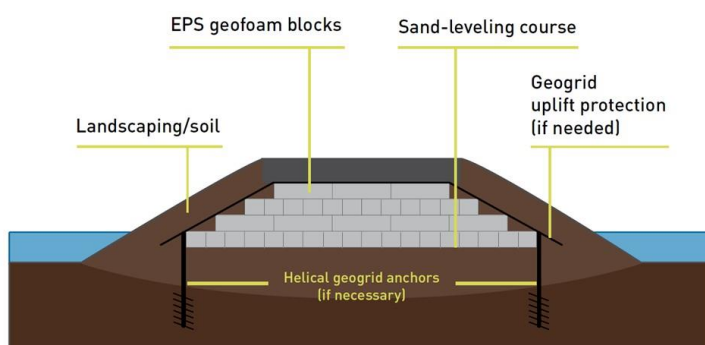
Figur 52 Arealutforming og støyvoller med EPS. [EPS Geofoam Applications & Technical Data.pdf \(utah.edu\)](#)

På samme måte kan EPS-blokker brukes som et lett fyllmateriale til landskapsforming, for eksempel som kunstig terrengutforming nær eksisterende bygninger, hvor vanlig masser som brukes til samme formål skaper setningsproblemer for bygningens fundamenter. Tilsvarende kan EPS blokkene også brukes som støyvoller.

Disney Shanghai i China og George Lucas museum i USA er de siste årene bygd opp med store volum EPS først og fremst brukt som landskapsutforming. I løpet av byggeperioden for Disney-prosjektet ble EPS-blokker brukt for å utforme plasser og landskap i mange av temasonene i parken. EPS ble brukt for å forhindre store setninger i disse områdene. I George Lucas Museet er EPS først og fremst brukt som tiltak på de grønne takene i forbindelse med seismisk aktivitet som vist i denne linken; [George Lucas Museum Aerial Update next to LA Coliseum Sept '20](#)

7.6 Flombeskyttelse

Langs elver med setningsømfintlig grunn har det i USA til en viss grad blitt brukt EPS i fyllinger på siden av elva for å redusere setninger i undergrunnen og på den måten opprettholde flombeskyttelsen. I slike tilfeller er det nødvendig med tilstrekkelig vekt over EPS fyllingen for at flombeskyttelsen skal kunne motstå flom.



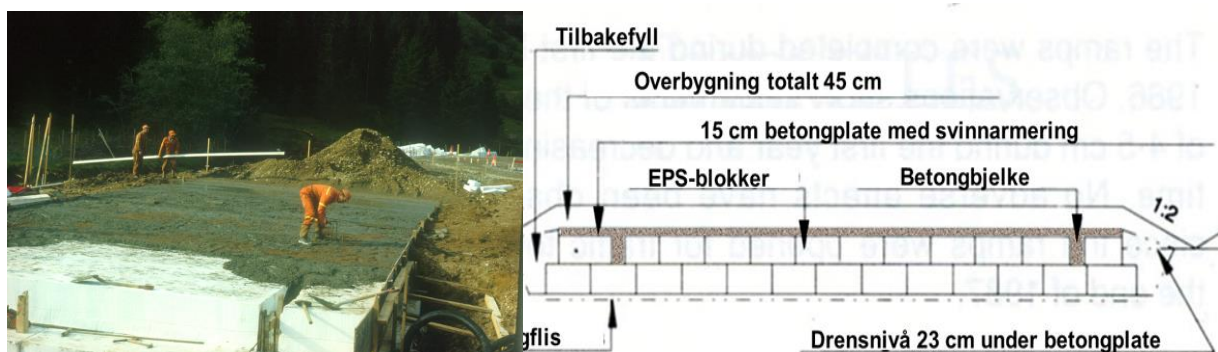
Figur 53. Bruk av EPS i elv/bekkeforbygning.

Figur fra [EPS Geofoam Applications & Technical Data.pdf \(utah.edu\)](#)

8 Flytende konstruksjoner med EPS

8.1 Platebru over neddykkede EPS-blokker, Rv 610 i Sande i Sunnfjord

Et område som også har vist seg å ha et stort potensial, men som kanskje ikke helt har slått til enda er å utnytte den lave vekten i flytende eller delvis flytende konstruksjoner med et regulert vannivå. En omlegging av rv. 610 i Sande i Sunnfjord førte vegen over en myrstrekning på hele 200 meter med 2 meter torv over bløt leire med 13 meter til berg.



Figur 54. Platebru over neddykket EPS fylling. Foto: Skildbrei. Statens vegvesen.

Illustrasjon. Roald Aabøe



Figur 55. Rv 610. Regulering slik at vannstanden holdes konstant. Foto: Skildbrei.

Statens vegvesen

For å unngå store setninger og ujevn veg ble det valgt å benytte neddykkede EPS-blokker som underlag for vegen i en slags platebru. Dette gir EPS-blokkene oppdrift, og forutsatte at grunnvannsnivået kunne holdes innenfor variasjoner på $\pm 20 - 30$ cm.

Etter at 1,2 meter torv var gravet ut i 9 meters bredde ble det benyttet 0,2 meter sagflis for avretting før to lag 50 cm tykke EPS-blokker ble lagt slik at de øvre 23 cm ville komme over vannspeilet. Ved å etablere drens-system med rør, kunne vannspeilet holdes på et konstant nivå.

Under støping av betongplaten over blokkene ble de ytre blokkene i øvre rad plassert slik at to 0,25 meter brede T-bjelker ble integrert i betongplaten med EPS-blokkene som forskaling. Dette ga vegen en økt stivhet i lengderetningen for å redusere setningsforskjeller.

Medregnet betongplaten ble det lagt ut i alt 45 cm overbygning. Etter at vegen ble ferdigstilt har det blitt registrert minimale setninger. Blokkene har blitt kontrollert for både dimensjonerende tyngdetetthet og trykkfasthet 10 og 30 år senere uten at det har blitt konstatert materialforandringer.



Figur 56. Myrbrua av EPS 30 år etter bygging. Foto Simen Hermansen.

Masteroppgave til Simen Hermansen (2012) konkluderer med at etter 30 år med bruk av EPS, viser tester utført på både myrbrua og andre undersøkte EPS fyllinger ingen tegn til at materialet svekkes over tid og ingen tegn til nedbrytning av materialet samt at vegen visuelt framstår som bra.

At myrkonseptet på EPS ikke har blitt videreført har nok flere grunner. Den har vært lite markedsført. Det er heller ikke utgitt noen større publikasjoner om myrbrua siden den ble bygget og myrbrua er heller ikke nevnt i håndbøkene til Statens vegvesen. Dette gjør nok både bruingeniører og konsulentbransjen skeptiske til en EPS-myrbru fordi brutypen ikke står beskrevet i Statens vegvesen sitt regelverk. For ytterligere detaljer vises det til:

Masteroppgave NMBU av Hermansen, S. 2012 [Anvendelser av EPS i vegbygging – med fokus på brofundamentering og myrbro NMBU](#)

Intern rapport 1160. Veg på ekspandert polystyren. Rv 610 Steien – Osen, Skilbrei N., Hillestad Å., 1984 [Intern rapport 1160](#)

Intern rapport 1646. Aabøe R., Vurdering av neddykket EPS-konstruksjon 9 år etter ferdigstilling, Veglaboratoriet. 1993, Oslo. [Intern rapport nr. 1646](#)

8.2 Prosjekter med utnyttelse av oppdriftsegenskaper i Nederland/Japan

En lignende bruk av oppdriftseffekten har blitt introdusert i Nederland, hvor flytende hager bygget på EPS-blokker kan sees på kanalene i Amsterdam.



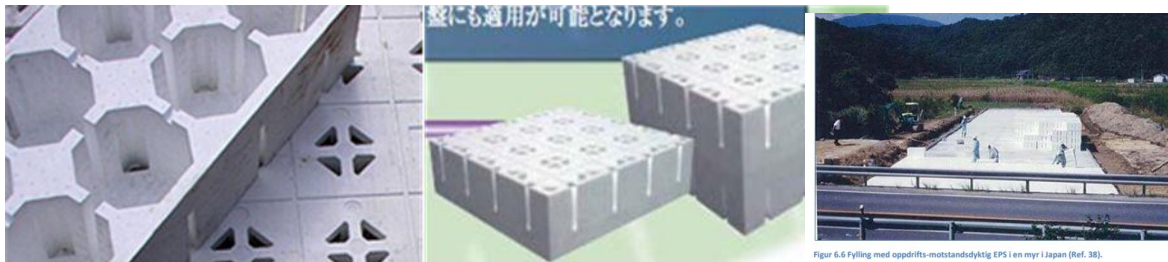
Figur 57. Drenering / infiltrering av vann i en neddykket konstruksjon i Nederland. Foto Roald Aabøe



Figur 58. Flytende hager i Amsterdam. Foto T. Øzer

I deler av Nederland med svært bløte organiske leirer har EPS blitt brukt for å oppnå en kompensert løsning i både eldre sterkt setningsskadete boligområder (lokalveger og hageområder etc) og i etablering av ny bebyggelse med tilstøtende vegsystemer, parkeringsareal, osv. I Figur 57 ligger EPS fyllingen under grunnvannstanden. Dette forutsetter et system med drenasje og infiltrerings slik at grunnvannstanden til enhver tid holdes konstant.

Standard EPS blokker er 50 ganger lettere enn vann, så dersom vannet kommer høyt nok opp i en EPS-fylling vil den flyte opp. I de tilfellene hvor en EPS-fylling ikke greier å møte sikkerhetsfaktoren mot oppdrift, som blant annet innebærer at fyllingen skal kunne motstå en 200 års flom, kan bruk av EPS blokker med økt motstand mot oppdrift løse problemet. Slike spesielle former for EPS-blokker «Buoyancy-Resistant EPS-Blocks (BR-EPS)» med 25 cm høyde har i Japan blitt designet for å imøtekomme stigende vannivåer uten at det fulle oppdriftspotensialet i en vanlig EPS blokk blir aktivert. Dette har de oppnådd ved å lage hulrom med spalter på sidene som sørger for at grunnvannet kan renne fritt gjennom fyllingen og dermed minske oppdriftseffekten, Figur 59. Vekten og trykkfastheten ellers er lik som standard EPS.



Figur 59. Bruk av spesialblokker for å redusere oppdrift fra en myr i Japan. Foto fra EDO (Japan)

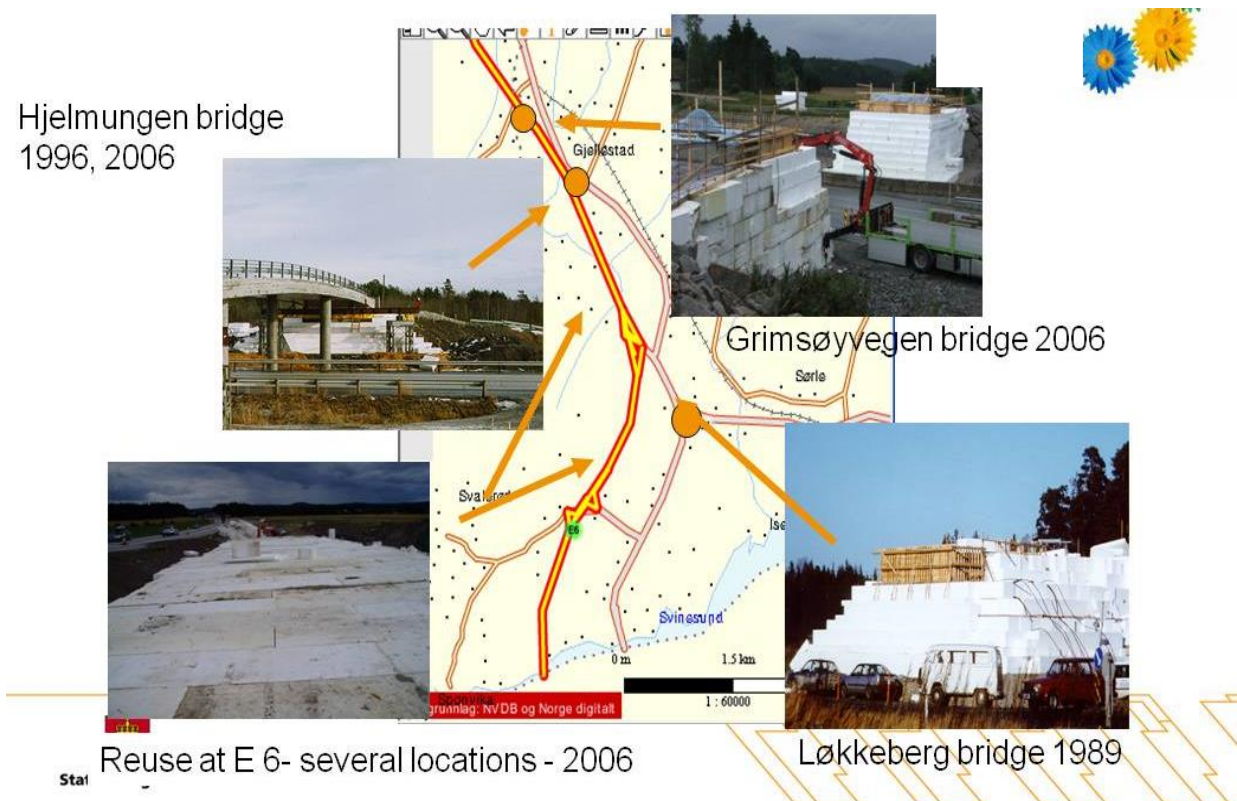
Der BR-EPS blokker er brukt under hele fyllingen kan oppdriften senkes med 60 %. Det er flere detaljer beskrevet i masteroppgaven til Simen Hermansen (UMB 2016) [Master IMT Hermansen](#) .

9 Direkte fundamentering på EPS fyllinger.

Det finnes flere prosjekter, spesielt i Norge, Europa og USA, der brukonstruksjoner er fundamenter direkte på EPS-blokker. Figur 60 viser eksempler av stål og betong-bruer fra E6 syd i Østfold som er fundamenterert på denne måten.

I tillegg vil konstruksjoner med EPS-blokker kunne avsluttes med vertikale vegger med minimal overføring av horisontale krefter til nærliggende strukturer eller de som er knyttet til fyllingen. Dette kan forenkle prosjektering av brufundamenter og støttemurer for håndtering av horisontale krefter.

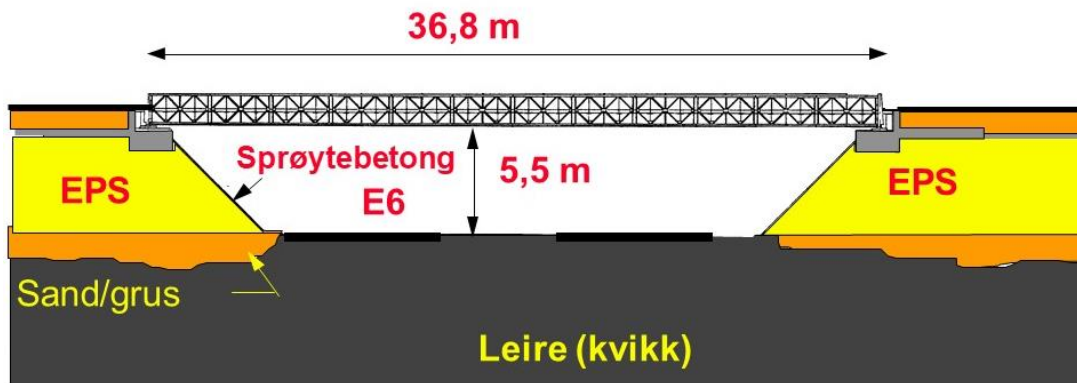
Et viktig oppsummering av potensialet for fundamentering på denne måten er beskrevet i konferanseinnlegget: [Bridge Foundations Supported by EPS Geofoam Embankments on Soft Soils](#) samt senere i denne rapporten.



Figur 60. Direkte fundamentering på EPS på permanente og midlertidige brukonstruksjoner samt gjenbruk av EPS materiale. Illustrasjon og bilder: Statens vegvesen

9.1 E6 Løkkeberg. Direkte fundamentering av brulandkar i EPS-fylling

Detaljer fra denne løsningen er beskrevet i Intern rapport 2209 fra Statens vegvesen, [Fundamentering på ekspandert polystyren. 10 års erfaring](#)



Figur 61. E6 Løkkeberg bru. Fundamentering av bru på en EPS fylling. Illustrasjon: Roald Aabø.



Figur 62. Fundamentering av Løkkeberg bru direkte på fyllinger av EPS-blokker, 1989 (Statens vegvesen)

Denne bruken ble første gang benyttet i 1989 for en midlertidig bru over E6 ved Løkkeberg nær Svinesund. Her ble en ettspenns midlertidig beredskapsbru (såkalt Acrow bru) fundamentera direkte på 5 meter høye EPS-fyllinger. På grunn av lav bæreevne (bløt kvikkleire til store dybder) og forventede store setninger, ble EPS vurdert som tilløpsfylling i området rundt brua. Prosjektet ga muligheten til å fundamentera brua direkte oppå 5 meter høye EPS-fyllinger på begge sider, som et alternativ til å fundamentera

brua på peler. Brua var en midlertidig løsning, og eventuelle deformasjoner kunne justeres i løpet av driftsperioden. Det ble derfor besluttet å gjennomføre prosjektet som en fullskala test, etter at det var verifisert at dette var en mulig løsning.

Tre forskjellige kvaliteter av EPS-materiale med designfasthet ble brukt: $\sigma_5 = 240$ kPa i det øverste laget rett under brufundamentet, $\sigma_5 = 180$ kPa i de gjenværende lagene halvveis ned i fyllingen, og $\sigma_5 = 100$ kPa i den nederste halvdel. Om lag 25 % av materialstyrken ble utnyttet i det øverste laget. Brua var opprinnelig planlagt å

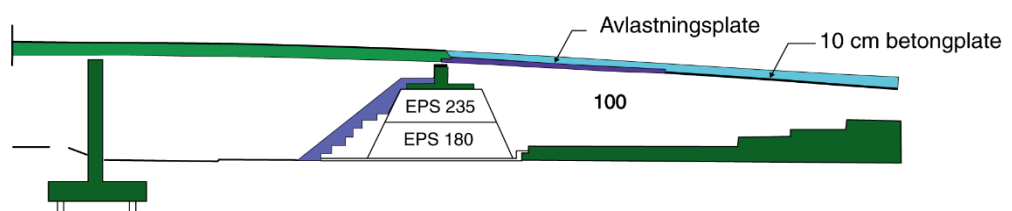
fungere i 3–5 år, inntil den nye E6-brua var ferdig, men den ble stående i 17 år. I hele perioden ble konstruksjonen fulgt opp med instrumentering og målinger både underveis og ved demontering. Dokumentasjonen på instrumentering og målinger er vist i Statens vegvesen rapporter nr.1018. Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren. Konstruksjonen fungerte som planlagt, og både setnings- og bruksmessig var løsningen en suksess. Det ble ikke registrert sprekker eller ujevne bevegelser i konstruksjonen i løpet av de 17 årene.

Totalsetningene (inkludert deformasjonen i EPS-blokkene) i bruksperioden ble beregnet til totalt 30 cm. Etter 6 år var setningene i denne størrelsesordenen, og brua ble jekket opp med 30 cm for å sikre tilstrekkelig fri høyde, ettersom brua var planlagt å være i bruk i mer enn 5 år til, inntil den nye Svinesundforbindelsen var ferdig.

Etter rivningen ble blokkene gjenbrukt i et nytt E6-prosjekt i nærheten. I 2006 ble brua fjernet, og den nye E6 ble åpnet i området.

9.2 Reparasjon av Hjelmungen bru (1996) og flytting (2006).

Hjelmungen bru, kun noen kilometer fra Løkkeberg bru, er en tre-spenns, 54 meter lang kontinuerlig betongdekkbru som ble ferdigstilt i 1992. Brua har forankringer og pilarer fundamentert på betongpeler til fast grunn. Grunnforholdene viste 10–14 meter med bløt, sensitiv og delvis kvikk leire. De 5 meter høye fyllingene ved brua bestod delvis av vanlige fyllmaterialer og delvis av avfallsmateriale fra produksjonen av Leca byggeblokker.



Figur 63. Prinsippskisse for refundamentering av Hjelmungen bru. Illustrasjon: Statens vegvesen

To år etter ferdigstillelse ble det registrert betydelige setninger med påfølgende skader på bruas landkar, som hadde forskjøvet seg. Deformasjonsobservasjon ble igangsatt, og det ble snart klart at umiddelbare reparasjonstiltak måtte iverksettes. Siden setninger (10 cm/år) forårsaket av tilløpsfyllingene var det største problemet, ble det besluttet å redusere belastningen på undergrunnen med inntil 40 kPa for å

gjenopprette de opprinnelige spenningsforholdene. Dette omfattet utskifting av tilløpsfyllingene med EPS-blokker samt refundamentering av landkarene på såle direkte på EPS-fyllingene, etter modell fra Løkkeberg bru.

Ett landkar ble refundamentert av gangen mens brudekket fikk alternativ understøttelse. Tykkelse og tyngdetetthet til fyllmassene som ble fjernet, ble registrert for å kunne ha sikrere data for last- og deformasjonsberegninger. Etter at de opprinnelige landkarene var fjernet, ble betongpelene inspisert for mulig skade før de ble kappet i terrengnivå.



Figur 64. Oppbygging av EPS-fyllinger. Brua bæres av midlertidige understøttelser. Foto: Tor Helge Johansen. Statens vegvesen

Ved oppbyggingen av tilløpsfyllingene ble det benyttet EPS med tre forskjellige trykkstyrker. I sonen direkte under brulandkaret, i det markerte området vist på Figur 64, ble det brukt materiale med en trykkfasthet på 235 kPa i de tre første lagene. Videre ned ble det benyttet en kvalitet på 180 kPa. I resten av EPS-fyllingen ble det anvendt materiale med normal kvalitet på 100 kPa. Kravet til trykkfasthet ble fastsatt ut fra en vurdering av antatt spenningsfordeling i fyllingen og ønsket om å holde spenninger forårsaket av permanent last under 30 % av materialstyrken

Strengere geometriske krav enn vanlig ble benyttet for å oppnå en så jevn fylling som mulig for å redusere initial-deformasjonene når reaksjonskraften fra brudekket ble overført til det nye landkaret. Bak begge brufundamentene ble det støpt en betongplate som er 10 meter lang og 200 mm tykk over EPS-fyllingen, som en friksjonsplate for å ta opp horisontale krefter på pilarene. På resten av EPS-fyllingen ble det spesifisert en betongplate med en tykkelse på 100 mm.

Landkaret ble i 2006 igjen flyttet da brua ble forlenget i forbindelse med utvidelse av E6 og på ny fundamentert på EPS-blokker.

9.3 E6 Grimsøyveien bru

Da en nærliggende bru over E6 for Grimsøyveien skulle utvides for å spenne over ny 4-felts E6, ble samme type løsning anvendt på ny. Figur 65 viser en midlertidig bru fundamentert på EPS-blokker som ble etablert (som et alternativ til peling av fundamentene) for bruk mens Grimsøyveien bru ble forlenget.



Figur 65 Fyllinger for interimsbru over E6 ved Grimsøyveien Foto: Tor Helge Johansen. Statens vegvesen

Deler av EPS blokkene var gjenbrukt fra Løkkeberg bru. Alle blokkene for interimsbrua ble senere benyttet i andre vegfyllinger på E6. Konstruksjonen ble foreslått av entreprenøren rett før bygging av den planlagte pelefundamenterte løsningen. Derfor ble det heller ikke tid til instrumentering og oppfølging av denne konstruksjonen.

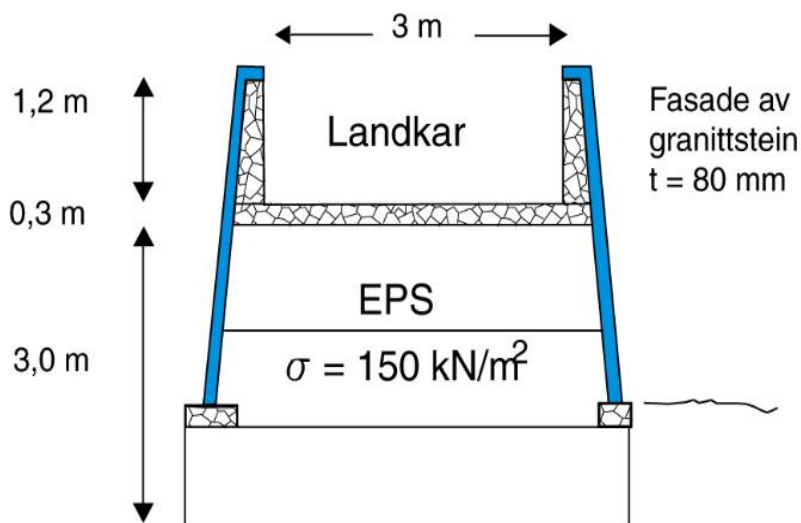
9.4 Sammenligning av fotgjengerbruer fundamentert på EPS-fylling med andre fundamenteringsmetode

I 1995 ble det bygget 4 gangbruer i Fredrikstad som krysser Fv. 109 hvorav 2 av disse bruene, Skovbøle og Leie, er fundamentert direkte på EPS-fylling.

Lars Marius Målerud Brekke har i masteroppgaven fra NTNU (2016): En studie av brufundamentering på EPS-fylling på bløt grunn, sett på disse 4 gangbruene. [En studie av brufundamentering på EPS-fylling på bløt grunn NTNU 2016](#)

Bruene er evaluert og sammenlignet mot hverandre. Dette fordi to av bruene er direkte fundamentert med kompensert fundamentering på EPS-fylling, en er direkte fundamentert på såle, og den siste er fundamentert på peler til berg. Oppgaven har også gjort et forsøk på å se hvordan bruk av EPS påvirker prosjekter i forhold til fundamentering med peler knyttet opp mot kostnader.

Oppgradering av nordre innfarts åre til Fredrikstad omfatter flere nye overgangsbruere. Tre slike fotgjengerbruere har kontinuerlige bæresystemer av laminert tre. Grunnforholdene i området består av bløt, marin leire delvis kvikk i store avsetninger. For å unngå store setninger ved landkarene ble det valgt å benytte EPS-blokker i tilløpsfyllingene for to av trebruene. Det ble også besluttet å fundamenter landkarene direkte på EPS-fyllingene.



Figur 66. Rv 109 tverrprofil av landkar. Illustrasjon: Statens vegvesen

For å ta opp lastene fra bruplate ble det valgt å benytte EPS-blokker med trykkfasthet $\sigma_5 = 150 \text{ kPa}$, som vist i Figur 66. Totalhøyden av EPS fyllingen er 3 m med tre lag av 1 m tykke blokker. Den nederste blokken er plassert under terrengnivå for å oppnå en kompensert fundamentering.

For å beskytte EPS-blokkene er det her benyttet en ytre kledning av granittblokker på sideskråningene som har en helning 10:1. EPS-blokkene ble levert fra produsenten

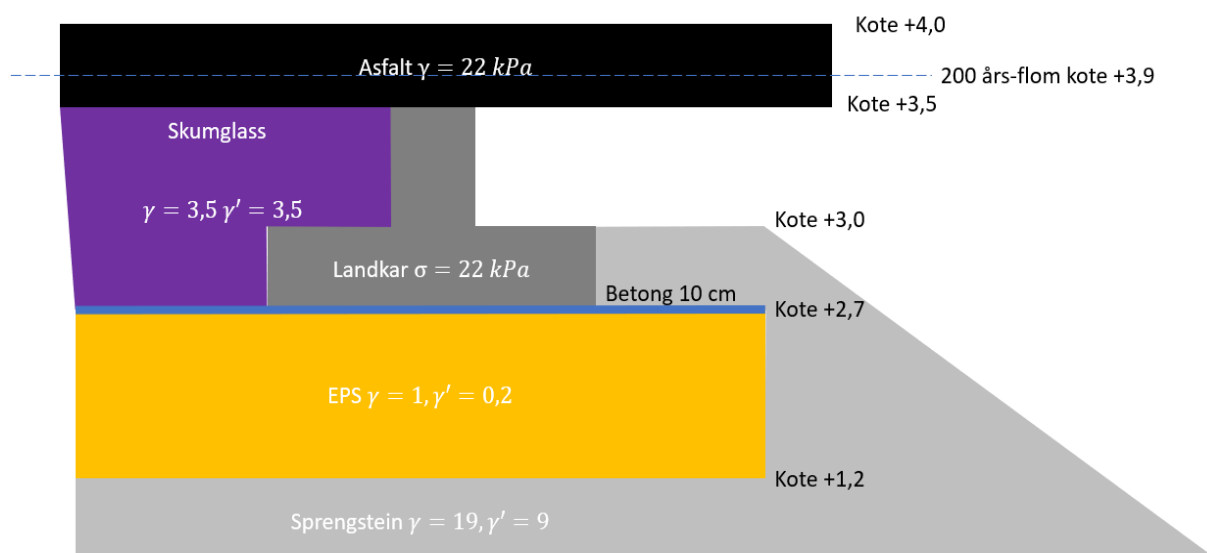
med denne helningen. Over den øverste EPS-blokken er det støpt en betongplate med sidevanger. Granittblokkene gir i motsetning til sprøytbetongflater landkarene et bedre estetisk utseende. Eksempel av dette er vist i Figur 67.

Bruene ble åpnet for trafikk i oktober 1996. Setningsutviklingen ved landkarene blir fulgt opp og justeringsmuligheter er lagt inn ved søylene for å unngå for store differensialsetninger langs bruaksen hvis behov for tiltak skulle oppstå.



Figur 67. Rv 109 Rolvsøyvegen. Gangbruer fundamentert på EPS. Foto: Statens vegvesen

9.5 Fv.717 Sund–Bradden, Sundsbrua



Figur 68. Utnyttelse av oppdrift under et fundament for å etablere tilstrekkelig sikkerhet og redusere påhengskrefter. Illustrasjon: Emil Cederström, Multiconsult

I et kvikkleireområde på Fv 717 Sund – Bradden med svært lav sikkerhet er det etablert en GS-veg langs vestsiden, Figur 68. Langsetter Sundbrua er det etablert en påhengt gangbane. Landkarene for GS vegen er direktefundamentert på en fylling av sprengstein og EPS blokker.

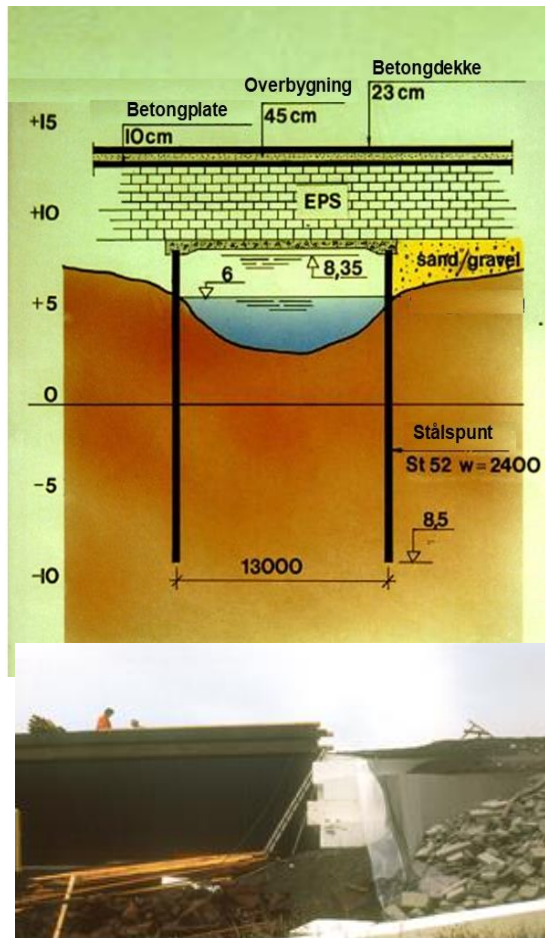
Det er forutsatt en trykkfasthet som må tåle en langtidslast på minimum 45 kPa og en kortidslast på minimum 100 kPa. EPS blokkene ble plassert på et avrettingslag og blokkene lagt i forband. Tilbakefylling mot landkaret ble utført med skumglass, Figur 69. Utstikk på EPS-blokkene utenfor landkarets såle er minimum 1 m på grunn av lastfordeling.

En kombinasjon av forskjellige typer lette masser kan ofte være en optimal løsning. Landkaret for gangbanen ble satt på EPS-blokker for å redusere setninger som kunne ha gitt påhengslaster på peler på Sundsbrua.



Figur 69. GS veg med EPS og skumglass. Foto: Emil Cederström, Multiconsult

9.6 Forenklet bruløsning, Sem i Vestfold



Figur 70. Forenklet bruløsning med EPS-blokker. Foto og illustrasjon: Roald Aabøe

En annen anvendelse av EPS i forbindelse med bruer er som et lett fyllmateriale over brudekke, Figur 70. I forbindelse med bygging av ny E18 ved Sem krysser traseen en meanderelv på 2 steder innenfor noen få hundre meter. Planum for kryssingen lå 11 meter over elvebunn. Kun svært små differensialsetninger kunne aksepteres fordi det var planlagt veg med betongdekke. For å verne fiske-bestanden var det lagt restriksjoner på tilgang til elvebunnen under byggingen.

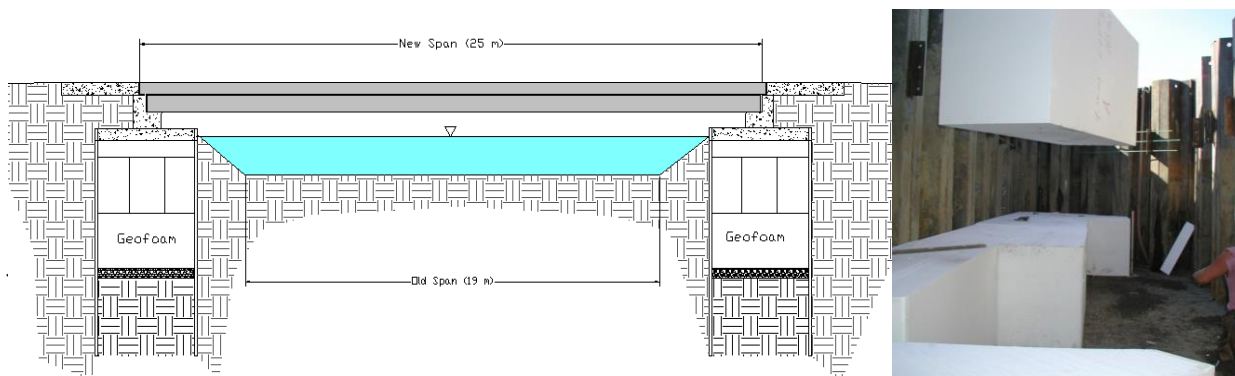
Den valgte løsningen ble å ramme 17 m lange spuntnåler med motstands-moment $2400 \text{ cm}^3/\text{m}$ som spuntvegg på hver side av elvebredden uten at fiskelivet i elven ble forstyrret. Stillas for støping av brudekke ble forbundet med spuntveggene med vektoverføring til spunten. Over brudekket ble det lagt opp 4 meter med EPS-blokker med vanlig 10 cm betongplate over til underkant vegoverbygning.

Metoden gjorde det mulig å redusere kulvertlengden fordi EPS ble lagt med vertikale vegger. E18 traseen var prosjektert for senere utvidelse til 4 felts veg. Utvidelse av spunkulverten var vesentlig rimeligere enn f.eks. for bru. Veggene er dekket med elokserte stålplater montert med spikerslag.

Det er viktig å ta hensyn til at EPS fyllingen kan få en egendeformasjon på 0,5 – 1 % når lasten fra en normal overbygning blir påført. Denne detaljen ble uteglemt av entreprenøren her og førte til at en del av stålplatene ble stuket i underkant.

9.7 Utskifting av en stålbru (Upstate New York)

En lignende løsning ([5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018 | SpringerLink](#)) er brukt i Upstate New York som rehabilitering av en bru med store setningsskader. Det var nødvendig å øke spennvidde og bredden på den nye brua for å øke vanngjennomstrømningen og supplere med breddeutvidelse for et fortau. Løsningen er vist i Figur 71 hvor masser innenfor spuntveggkasser på begge sider ble erstattet med EPS-blokker for å kompensere for vekten av brua og fundamenteringen.



Figur 71. Figur fra 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018 | SpringerLink

9.8 Prosjekter med behov for svært kort byggetid

Av ulike grunner må noen byggeprosjekter fullføres innen et kort tidsrom. Med sin lette vekt, store volum per blokk og stor transportkapasitet inklusiv mulighet for å etablere produksjonsanlegg på anlegg stedet, kan EPS-blokker være en meget god bidragsyter når rask gjennomføring er avgjørende for et byggeprosjekt. Det er flere eksempler på prosjekter hvor kort byggetid har vært avgjørende for valg av løsning som er nevnt tidligere i rapporten, blant annet i avsnitter 5.2, 6.2, 6.3 og i 7.3.

9.8.1 Nishinomiya city, jernbaneplassform

På grunn av sikkerhets- og tidshensyn ble EPS brukt til utvidelse av en jernbaneperrong i Nishinomiya city og måtte gjennomføres raskt. Arbeidet må bli unnagjort i løpet av få dager. EPS er et materiale som i tillegg til å være svært lett også er klart til bruk når det ankommer byggeplassen og blokkene kan legges raskt på plass, noe som var avgjørende i dette prosjektet.

Figur 72 viser bilder fra byggetiden. For dette prosjektet var maksimal høyde 1 m, lengde 60 m og det samlede EPS-volumet 110 m³.



Figur 72. Jernbanepattform i Japan under bygging. Foto:EDO

9.8.2 Rehabilitering av motorvei i Japan.

Keiichi Taneichi [eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)



Figur 73. EDO-EPS Method Applied for Rehabilitation of Expressway Hit by Earthquake Central Nippon Expressway. Foto og illustrasjon: EDO

Et jordskjelv i august 2009 førte til at en motorveg nær episenteret kollapset. Et akutt reparasjonsarbeid ble igangsatt, ettersom denne motorveien er en av Japans viktigste hovedveier. Flere metoder for rehabilitering ble vurdert.

Fyllingsbunn ble støttet opp med motfylling kombinert med H-bjelker og betong, som vist i Figur 73. EDO-EPS-metoden ble brukt på den øvre del av fyllingen og stabilitetsmessig viste dette seg å være den beste metoden med de fordelene et slikt

lett materiale innebærer. Rehabiliteringsarbeidet ble fullført på bare fire dager og muliggjorde en rask gjenåpning av motorvegen.

9.8.3 E75 ved Thermopylene, Hellas

Konstruksjonen som trolig er verdens største EPS fylling, er vist i Figur 74. Den har en lengde på 1030 m, størst høyde på 8,5 m og et totalvolum på hele 65 000 m³. Den ble bygget i etterkant av et stort jordskred (Özer & Akinay, 2017).

Det enorme EPS volumet førte til at det ble opprettet en egen EPS-fabrikk nær anlegget. Fabrikken hadde en gjennomsnitts produksjon på 1000 m³ om dagen. Å legge produksjonen av EPS til anleggsstedet var logistisk fordelaktig, samtidig som det var besparende både økonomisk og miljømessig og hele prosjektgjennomføringen tok bare 2,5 måned.



Figur 74. 65.000 m³ EPS-blokker på E 75 ved Thermopylene, Hellas (Bilde: Sotiropoulos & Associates SA)

9.9 Bruk av EPS til lastreduksjon på rør under høye fyllinger

Ved stor fyllingshøyde over rør er det ønskelig å redusere vertikallasten. Ved å legge inn et kompressibelt lag over røret, vil dette laget presses sammen ved videre oppfylling og medføre en reduksjon av vertikallasten på på røret i form av en hvelvvirkning (e. arching).

Deformasjonen av massene over røret, medfører at det mobiliseres oppadrettede skjærspenninger, og vertikallasten på røret reduseres.

Metoden med EPS over rør er utviklet og verifisert ved fullskalaforsøk i Norge av Jan Vaslestad i hans Dr. ing avhandling ved NTNU i 1990. Det ble også utviklet en dimensjoneringsmetode for arching basert på Nilmar Janbu sin teori for spenningsfelt, og metoden er nå brukt i store deler av verden.

Det første instrumenterte fullskalaforsøket ble utført på et 1,6 m diameter betongrør under 4 m høy fylling på E18 Eidanger i 1988. I 1989 ble det instrumentert et 1,4 m diameter betongrør under 14 m høy fylling på Sveio. I 1992 ble det instrumentert et 1,4 m diameter betongrør under 22 m høy fylling på E6 ved Tømtebekken i Eidsvoll. I 1989 ble det også instrumentert en 2,0 m bred betongkulvert under 11 m høy fylling i Hallumsdalen ved Hønefoss.

På de instrumenterte betongrørene ble det vertikale jordtrykket redusert til mellom 22 og 28 % av overlagingstrykket (fylling av granulære masser). På betongkulverten med fylling av siltig leire ble det vertikale jordtrykket redusert til 50 % av overlagingstrykket.

I samarbeid med Pipelife pågår det nå en mulighetsstudie for å bruke metoden på plastrør under høye fyllinger. Resultatene skal presenteres på Plastic Pipes XXII i Warszawa 2025.

Metoden er beskrevet i V220 Geoteknikk i vegbygging [N-V220:2025](#).

9.9.1 Referanser om bruk av EPS til lastreduksjon

I dette delkapitlet listes en rekke artikler og presentasjoner der EPS benyttes som lastreduserende tiltak. Rekkefølgen følger tidslinje, med de nyeste publikasjonene først.

Maleska,T., Beben,D., Nowacka,J, and Vaslestad,J. (2022). “Long-term behaviour of instrumented concrete culvert with high soil cover using EPS for load reduction” 11th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Barcelona.

Vaslestad,J. and Sayd,M. (2018). “Load reduction on buried rigid culverts, Instrumented Case Histories and Numerical modelling” Proceedings EPS 2018, 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications.

Janusz.L, Vaslestad,J, Miglio. A (2018). “Fifty Years of Culverts and Soil-Structure Interaction: European Experience” Transportation Research Circular, Issue Number: E-C230, Publisher: Transportation Research Board, ISSN: 0097-8515.

Vaslestad,J (2018). «Using EPS geofoam to reduce loads on buried structures”, Opole University of Technology, Poland.

Vaslestad,J (2018). “Load reduction and arching on buried rigid culverts using EPS Geofoam. Design method and instrumented field tests.” University of Cartagena, Spain.

Vaslestad,J, (2017). «Norwegian experience on load reduction on concrete pipes using EPS geofoam material”. Seminar Structural design and installation of buried pipes, Norwegian University of Life Sciences.

Bartlett.S, Lingwall.B, Vaslestad. J (2015). “Methods of protecting buried pipelines and culverts in transportation infrastructure using EPS geofoam”. Geotextiles and Geomembranes, Volume 43, Issue5, pp 450-461.

Vaslestad,J (2014). “Load reduction and arching on buried rigid culverts using EPS Geofoam. Design method and instrumented field tests.” University of Utah.

Vaslestad, J., Murad,S., Johansen T.H., Wiman, L. (2011). “Load reduction and arching on buried rigid culverts using EPS Geofoam. Design method and instrumented field tests.” 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway.

Vaslestad,J., Yesuf,G., Johansen T.H. (2010). “Long-term instrumented field test using geofoam to reduce earth loads on buried concrete pipe”. Proceedings 9th International Conference on Geosynthetics 9ICG, Guarujá, Brazil.

Vaslestad,J., Yesuf,G., Johansen T.H, Damtew,T, Wendt,M (2009). " Instrumented field test and soil structure interaction of concrete pipe with high fill." Proceedings 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria, Egypt.

Vaslestad,J (2009)."Using lightweight and recycled materials for road applications– Norwegian experience". Scientific–technical international conference: Environmental protection and aesthetics and road infrastructure development, Kazimierz Dolny, Poland.

Vaslestad,J (2009). " Long–term in–situ measurements of concrete culverts with high fills and geofoam. FEM analyses and simplified design model". Seminar EDO, Expanded polystyrene development organization for EPS producers and users. Technological exchange conference Japan/Norway. Oslo.

Vaslestad,J, Yesuf,G., Johansen,T.H (2009). "Long–term in situ measurements of concrete culverts with high fills". Eight International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. Champaign, Illinois, USA

Vaslestad,J, Kunecki,B., Johansen T.H. (2008). "Load reduction (arching) on buried rigid culverts using geofoam. Long–term behaviour." Fourth European Geosynthetics Conference EuroGeo 4, Edinburgh, Scotland.

Vaslestad,J, Johansen T.H (2008). " Arching on rigid structures below high fills. Long–term behaviour of three instrumented full–scale tests". Proceedings Nordic Geotechnical Meeting nr 15, Sandefjord, Norway.

Vaslestad,J (2007). "Load reduction of buried culverts using EPS. Long–term behaviour". Seminar EDO, Expanded polystyrene development organization for EPS producers and users. Technological exchange conference Japan/Norway. Oslo.

Vaslestad,J (2007). "Load reduction of buried culverts using geofoam", Session 669: Nonearthened materials in cold climates, 86th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington D.C.

Vaslestad,J (2006). "Load reduction of buried culverts using EPS. Long–term behaviour". Seminar EDO, Expanded polystyrene development organization for EPS producers and users, 20 years anniversary, Tokyo, Japan.

Vaslestad, J.,(1999). " Load reduction on rigid culverts beneath high fills." Seminar Syracuse University, 19th of November.

Vaslestad, J., Johansen, T.H. (1996). " Soil pressure on concrete elements tunnels." Proceedings of the Nordic Geotechnical Meeting, Reykjavik, Iceland.

Vaslestad, J.(1993). "Rigid and flexible culverts. Case histories from Norway". Seminar University of Wisconsin/Wisconsin Department of Transport. Madison.

Vaslestad, J., Johansen, T.H. and Holm W. (1993). "Load reduction on rigid culverts beneath high fills– long term behaviour". Transportation Research Record No. 1415. Transportation Research Board, Washington DC.

Vaslestad, J.(1992). "Load reduction on rigid culverts." Seminar University of British Colombia, Vancouver.

Vaslestad, J. (1992). "Earth pressure on concrete pipes" (In Norwegian). Proceedings of the Nordic Geotechnical Meeting, Aalborg, Denmark.

Vaslestad, J. (1991). "Load reduction on buried rigid pipes", Nordic Road and Transport Research, No 3, 1991.

Vaslestad, J.(1991). "Load reduction on buried rigid pipes," Proceedings of the 10th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Florence, Italy.

Vaslestad, J. (1991). "Load reduction on buried rigid pipes below high embankments" ASCE Specialty Conference, Pipeline Division, Denver, Colorado.

Vaslestad, J. (1990). "Soil structure interaction of buried culverts", Dr.ing. thesis 1990:7, Geotechnical Division, Norwegian Institute of Technology.

Vaslestad, J. (1989). "Load reduction on concrete pipes", (In Norwegian). Fagmøte avløpsseksjonen NBIF, Haugesund.

9.9.2 Utnyttelse av lastreduksjon på setningsfri tunnelkonstruksjon.

I Nederland har de utnyttet archingprinsippet til å bygge en setningsfri kulvert i en EPS-fylling uten pelefundament slik de ofte gjør i Nederland. Systemet er basert på lastfordeling med normal kraft langs "trykknivåene" i det korrugerte stålrøret. Som et alternativ til standarddesignen med komprimert sand rundt rørledningen er det sikret tilstrekkelig sidestøtte ved hjelp av en skumbetong kombinert med EPS-blokker.

En slik tunnelkonstruksjon som allerede er i drift under den nye rundkjøringen på en lokalveg N222 nær Haag er vist i Figur 75. Prosjektløsningen ga reduserte bygge-kostnader og redusert byggetid.

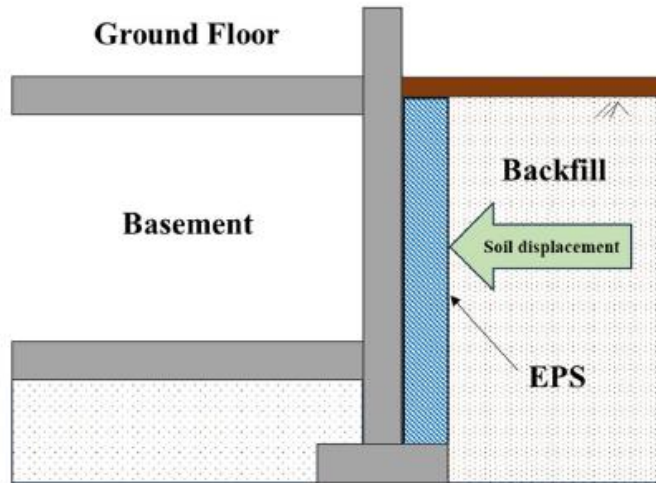


Figur 75. Korrugert stålrør hvor EPS optimaliserer konstruksjonen. N222 Haag. Foto: Infradelft

9.9.3 Reduksjon av horisontal trykk med kompressible materialer av EPS

I konferanseinnlegget "Preliminary Data for Design of Compressible Inclusions within Below Grade Foundation Wall Systems. Architectural Engineering Institute (AEI) 2025 Conference to be held in Kansas City, MO, April 13–16, 2025 Navid Joushideh, David Arellano" beskriver Joushideh og Arellano en løsning for å redusere horisontaltrykk mot en vegg ved å inkludere et tynt komprimerbart materiale mellom veggen og tilbakefyllingsmassene, se Figur 76. Hovedfunksjonen til det komprimerbare materialet er å redusere horisontaltrykket på veggen ved å utløse en hvelvvirkning der noe av horisontal kreftene blir fordelt i tilbakefyllingsmaterialet i stedet for mot veggen. EPS er i den sammenheng et egnet materiale som komprimeres lettere og tillater en hvelvvirkning.

Den sentrale egenskapen til det komprimerbare materialet er elastisitetsmodulsen. Eksisterende designmetoder tar vanligvis ikke hensyn til effektene av kryp på elastisk modulus, fordi data som viser krypeffekter på elastisk modulus mangler.



Kryp er den ekstra deformasjonen eller tøyningen som skjer med tid under et påført stress eller last med konstant størrelse. Den nevnte studien har som mål å undersøke krypeffekters innvirkning på elastisitetsmodulsen til lavdensitets EPS. Dette innebærer å måle krypdeformasjon over tid med vedvarende laster.

Figur 76. Reduksjon av horisontaltrykk ved hjelp av Kompressible masser som lavdensitets EPS kvalitet (etter Joushideh og Arellano)

9.9.4 Energi absorbering

Snøskredoverbygg benyttes på vegstrekninger med hyppig snøskredaktivitet og vil normalt ha et lag med fyllingsmateriale på toppen for å absorbere noe av kreftene fra steinnedfall. For ytterligere å redusere påvirkningskrefter, kan EPS plasseres på taket, eventuelt med et betongdekke og fylling på toppen som vist fra Tyrkia i Figur 77



Figur 77. Geofoam blocks applied for energy absorption on rock fall protection tunnel in Turkey (Foto: Courtesy of EPSDER, Turkey)

Når store steiner treffer konstruksjonen, vil EPS-materialet deformeres og absorbere en stor del av den dynamiske energien, noe som dermed reduserer de dynamiske lastene som overføres til snøskredoverbygget.

Denne ideen ble først introdusert og testet i Japan (Konno m. fl., 2001). Metoden kan også brukes for å beskytte andre typer konstruksjoner mot dynamiske påkjenninger.

9.9.5 EPS-fyllinger utsatt for seismiske laster

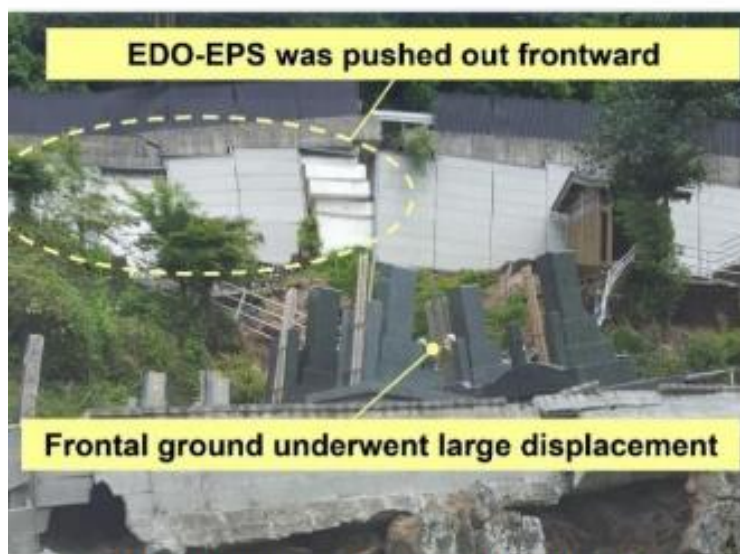
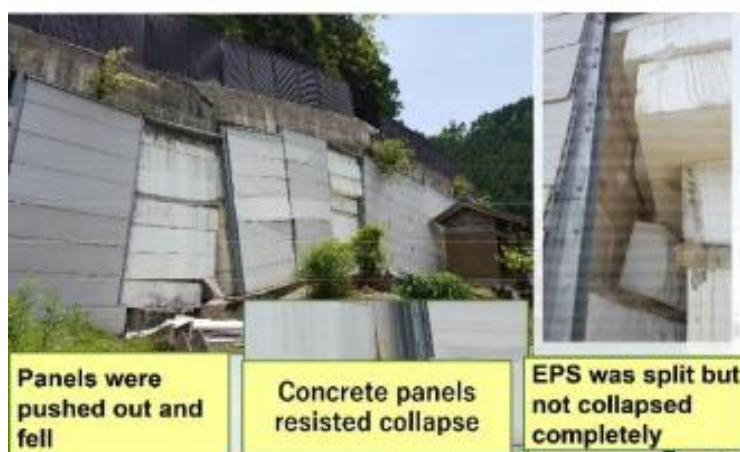


Figure 8 Damage to the frontal side of the road



Figur 78. Hentet fra; [View of An Expanded Polystyrene Foam \(EPS\) Road Robust to Successive Great Kumamoto Earthquakes in 2016](#). Foto: EDO

I forbindelse med introduksjon av metoden ble det reist bekymringer for stabilitet for EPS fyllinger utsatt for seismiske laster. Laboratorie, skalaforsøk og oppfølging av eksisterende EPS konstruksjoner er beskrevet i Statens vegvesen rapport nr.1018. Del 2: Materialoppførsel av ekspandert polystyren.

Det generelle bildet er at EPS-materialet har en positiv effekt på typen konstruksjoner som ble analysert under seismiske laster. I Japan kreves det ingen spesielle seismiske designhensyn for fyllinger med høyder mindre enn 6 m og et høyde-til-bredde-forhold $< 0,8$. For høyere fyllinger anbefales at det tas slike hensyn.

Sekundære seismiske effekter etter et jordskjelv, som tsunamier, jordskred osv., kan skade EPS-fyllinger, men det ble ikke rapportert om alvorlige skader på EPS-konstruksjoner eller påfølgende tsunami effekter fra jordskjelvet i Tohoku i 2011.

Et stort jordskjelv i Kumamoto-distriktet i den sørlige delen av Japan i april 2016 inntraff to ganger i løpet av 28 timer med en styrke på 6,5 på Richters skala. Som følge av dette jordskjelvet kollapset mange hus og veger og det oppsto store setninger/deformasjoner, og en EPS-fylling på lokalvei 28 Kumamoto-Takamori line deformerte seg noe, se Figur 78. Fyllingen ble fullført, og den ferdige vegen var raskt i normal drift. Bildet viser også at EPS konstruksjonen ikke er bygget som en homogen konstruksjon, med åpne gjennomgående fuger. Dette kunne muligens forbedret situasjonen. [View of An Expanded Polystyrene Foam \(EPS\) Road Robust to Successive Great Kumamoto Earthquakes in 2016](#)

Ellers anbefales det å bruke de amerikanske NCHRP og de japanske retningslinjer (litt vanskeligere tilgjengelig) samt eksempler i rapport Del 1 fra spesielt Steven Bartlett.

10 Andre løsninger

Hvelvbru av EPS

I 1987 ble det vurdert å bygge en hvelvbru av EPS. Hensikten var å vise hva som var teknisk gjennomførbart med EPS som materiale. Brua skulle bli laget på en slik måte at alle skulle få innsyn i hvordan brua var bygd ved å bruke gjennomsiktige plater av plast eller akryl.

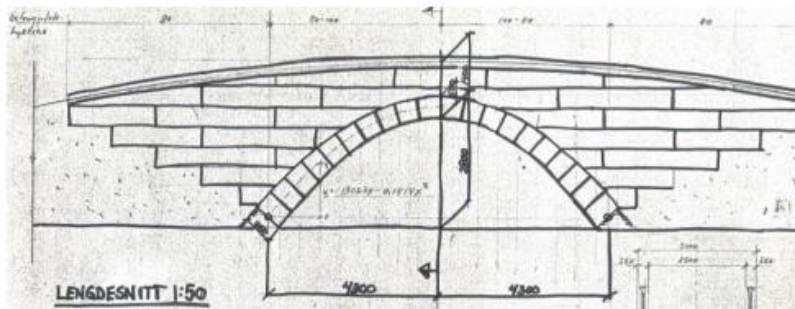


Figure 6.4: Skisse av hvelvbru. (Veglaboratoriet, 1987).

Figur 79. Illustrasjon av hvelvbru med EPS. Illustrasjon: Geir Refsdal

Tanken var at denne brua skulle stå i 3–4 år. Brua ble foreslått bygd med ett felt og 4 m bredde og skulle konstrueres for 10 tonn aksellast. Brua skulle bygges i fylling av limte EPS-blokker som skulle legges i en sirkel eller parabelformet bue. Armeringen skulle utføres med enten nett av plast, aluminium eller epoxybelagt stålnett. Gjennom fyllingen skulle det lages en undergang med 3 m høyde. Et toppdekke av betongelementer eller et støpt dekke ble sett på som en løsning for å få festet rekkverket. Dekket kunne lages med et utrullbart asfalt- gummibelegg. Overdekningen burde av estetiske grunner være på ca 1,5 m, altså en totalhøyde på 4,5 m. Utvendig kledning av de vertikale veggene skulle utføres med fibersprøyte betong på plast eller aluminiumsnett. Det var ulike grunner til at prosjektet aldri ble gjennomført og det er i dag trolig bare en kuriositet. Prosjektet kom aldri så langt som til prosjektering og beregning, men viser likevel tidsånden.

11 Referanser

Referansene under er en blanding av informasjon om litteratur om EPS og referanse 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 vegger 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.

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.
 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 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.
 22. **Alfheim S.** (1974) Lette fyllinger av skumplast i vegbygging. Veggen og vi, feb. 1974.
 23. **Alfheim S.** (1975) Skumplast i vegbygging – ikke bare til isolering. Frost i Jord, nr. 15.
 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 Høyskolen 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. **Athanasopoulos–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. **Duškov 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, 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.
56. **Frydenlund T.E. (1991)** Seminar on the use of EPS in road construction. Intern rapport nr. 1511, Veglaboratoriet.
57. **Frydenlund T.E. (2001)** EPS – Den lette løsningen. Intern rapport nr. 2209, Vegteknisk avdeling, Vegdirektoratet.
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. **Joushideh N, Arellano D. Phd.** Preliminary Data for Design of Compressible Inclusions within Below Grade Foundation Wall Systems. Architectural Engineering Institute (AEI) 2025. Kansas City, MO, April 13–16, 2025.
61. **Harelson S.** Geofoam. Colorado's Innovative Answer to an Emergency Highway Repair. Research pays off.

62. **Hermansen, S. (2012).** [Anvendelser av EPS i vegbygging – med fokus på brofundamentering og myrbro NMBU](#)
63. **Hjorteset 1987,** [Spenningsfordeling i EPS som konstruksjonsmateriale Diplomoppgave fra Institutt for geoteknikk og fundamenteringslære.](#)
64. **Horvath John S** [ER2010](#) Lateral Pressure Reduction on Earth-Retaining Structures Using Geofoams: Correcting Some Misunderstandings
65. **Håøya Arnt-Olav, Haagensen Kim, Aabøe Roald.** Environmental risks assessments of flame-retardant found in EPS bridge embankments. ([eps-proceedings-2011-norway.pdf](#)).
66. **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.
67. **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.
68. **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.
69. **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.
70. **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“
71. **Mandal J.N. (2017)** Geosynthetics engineering: In theory and practice. Research Publishing Services, Singapore, pp. 1352.
72. **Magnan J.P., & Serratrice,** Propriete mecanique du polystyrene expanse pour ses application en remblais routier. Bulletin ICPC , France, 1989
73. **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.
74. **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](#)
75. **Neupane R (2015)** Expanded polystyrene geofoam embankment for support of railways and bridges. Ph.D. Dissertation, University of Utah, Salt Lake City, USA.

76. **Norwegian Road Research Laboratory (NRRL)** (1987) Plastic Foam in Road Embankments. Meddelelse nr. 61, Oslo.
77. **Norwegian Road Research Laboratory (NRRL)** (1992) Use of expanded polystyrene in road embankments – Design, construction and quality assurance. Public Roads Administration, Oslo, Norway.
78. **Nishi T, Konami T, Kubota T, Kyokawa H, Koseki J and Yasuhara K**, CPC Evaluation of EPS embankment behavior during large-scale earthquakes by full-scale shaking table tests
79. **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.
80. **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.
81. **Padade A.H., Mandal J.N.** (2014) Expanded polystyrene-based geomaterial with fly ash. International Journal of Geomechanics, ASCE, 14(6):06014013.
82. **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, Norway, 2011.
83. **Proceedings of the 3rd International Conference on Geofoam** (2001) Salt Lake City, USA, 10–12 December 2001.
84. **Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications – EPS 2011** (2011) Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.
85. **Refsdal G.** (1977) Et alternativt material for oppbygning av lette fyllinger. Nordisk Vegteknisk Forbund 12. kongress, Esbo, Finland.
86. **Refsdal G.** (1977) Polystyrenblokker til vegbygging. Norsk Plast, nr. 9, 1977.
87. **Refsdal G.** (1977) Polystyren-hårdskum til vegbygging på myk jordbunn. Norsk Plast, nr. 3, 1977.
88. **Reuter G., Rutz J.** (2000) A lightweight solution for landslide stabilization. Geotechnical Fabrics Report, 18(7):42–43.
89. **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.
90. **Ruistuen H.** (1982) EPS in Lightweight Embankments in Norway. Intern rapport nr. 1050, Veglaboratoriet, Oslo.
91. **Rygg N.** (1974) Vegbygging på bløt grunn. Intern rapport nr. 533, 800 og 1386, Veglaboratoriet, Oslo.

92. **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.
 93. **Skuggedal H., Aabøe R.** (1991) Temporary overpass bridge founded on expanded polystyrene. Proceedings XECSMFE, Volume 2, Florence, May 1991.
 94. **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, 2011.
 95. **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>.
 96. **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>
 97. **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.
 98. **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.
 99. **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](#)
 100. **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.
 101. **The EPS Industry Alliance.** Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data
 102. **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.
 103. **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
 104. **Universal construction foam.** EPS29 Geofoam Used to Reduce Lateral Pressure on Concrete Wall
-

105. **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.
106. **Veglaboratoriet, Oslo** (1987) [Generell institusjonsreferanse uten tittel].
107. **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](#)
108. **Yasuhara K, H. Tsukamoto, K. Taneichi, T. Konami, and T. Kubota**
An Expanded Polystyrene Foam (EPS) Road Robust to Successive Great
Kumamoto Earthquakes in 2016 Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS
& AGSSEA Vol. 52 No. 4 December 2021 ISSN 0046–58288
109. **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.
110. **Zarnani S., Bathurst R.J.** (2008) Numerical modeling of EPS seismic buffer shaking table test. *Geotextiles & Geomembranes*, 26:371–383.
111. **Özer A.T** (2016) Laboratory study on the use of EPS–block geofoam for embankment widening. *Geosynthetics International*, 23(2):71–85.
112. **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.
113. **Özer A.T., Akay O.** (2016) Interface shear strength characteristics of interlocked EPS–block geofoam. *Journal of Master Civil Engineering*, 28(4).
114. **Özer A.T., Akinay E** (2017) Short term performance evaluation of geofoam block embankment using field instrumentations. 7th Geotechnics Symposium, İstanbul, Turkey.
115. **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